

Andrija Brkić

Kukuruz: od domestikacije do oplemenjivanja

Izdavač

Poljoprivredni institut Osijek

Urednici

Dr. sc. Antun Jambrović

Prof. dr. sc. Zvonimir Zdunić, EMBA

Recenzenti

Dr. sc. Vlatko Galić, Poljoprivredni institut Osijek

Prof. dr. sc. Mirta Rastija, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Dr. sc. Ivica Buhiniček, Bc Institut za oplemenjivanje i proizvodnju bilja, d.d.

Dr. sc. Violeta Anđelković, Institut za kukuruz „Zemun Polje“

Lektor

Ivana Kuna, prof. hrvatskoga jezika i mag. bibl.

Grafička priprema: Andrija Brkić

Oblikovanje korica: Marina Martinović

Naklada: 200 primjeraka

Tisak: Grafika d. o. o. Osijek

ISBN 978-953-7843-10-6



CIP zapis dostupan je u računalnom katalogu Gradske i sveučilišne knjižnice Osijek pod brojem 150825008.

Knjigu je sufinanciralo Ministarstvo znanosti i obrazovanja RH.

KUKURUZ:
OD DOMESTIKACIJE
DO OPLEMENJIVANJA

Andrija Brkić

*Ova knjiga nastala je iz dugogodišnje povezanosti s kukuruzom
i rada na Odjelu za oplemenjivanje i genetiku kukuruza.*

Knjigu posvećujem svojoj obitelji.

Sadržaj

Predgovor

Uvod.....	1
1. Kukuruz kao kulturna biljka.....	5
1.1. Gospodarska važnost kukuruza.....	5
1.2. Morfologija i fiziologija.....	19
1.3. Građa i sastav zrna.....	33
1.4. Agroekološki uvjeti.....	41
1.5. Tehnologija proizvodnje kukuruza.....	47
1.6. Upotreba kukuruza.....	63
2. Podrijetlo i širenje kukuruza.....	71
2.1. Sistematika i nazivi.....	71
2.2. Istraživanja o podrijetlu kukuruza.....	79
2.3. Kukuruz u Americi prije dolaska Europljana.....	105
2.4. Introdokcija i širenje kukuruza u Starom svijetu.....	115
3. Germplazma i oplemenjivanje kukuruza.....	133
3.1. Podjela germplazme.....	133
3.2. Germplazma u Sjedinjenim Američkim Državama.....	143
3.3. Germplazma u oplemenjivanju kukuruza.....	149
3.4. Istraživanja u genetici i oplemenjivanju kukuruza.....	167
3.5. Značaj očuvanja germplazme.....	205
Dodatak: Pojmovnik.....	219
Literatura.....	235
Summary.....	279
Popis kratica, slika, tablica i grafikona.....	281
Kazalo važnijih pojmova.....	293
Životopis.....	297

Predgovor

Kukuruz je najproučavanija biljka u genetici i oplemenjivanju bilja. Mnoga istraživanja u svijetu bavila su se agronomijom, biologijom, podrijetlom, domestikacijom i širenjem kukuruza te je toj temi dostupna vrlo opsežna literatura, no u Hrvatskoj je o kukuruзу do danas napisano vrlo malo knjiga. Stoga se nadam da će ova knjiga biti od koristi svima koje zanima podrijetlo i razvoj kukuruza kroz povijest, znanstvena istraživanja o toj važnoj biljci, njezina ogromna raznolikost i tipovi germplazme, uključujući i oplemenjivački materijal koji se koristi u komercijalnom oplemenjivanju i koji čini većinu proizvedenog kukuruza danas u svijetu.

Ova knjiga nije namijenjena samo stručnjacima, čak štoviše, usmjerena je prema široj publici – studentima poljoprivrede (ali i drugih znanstvenih i stručnih područja), proizvođačima i svima ostalima koje bi ovakva tematika mogla zanimati. Sadržajno, neki dijelovi stručnjacima će biti vrlo jednostavni, možda čak i trivijalni, a neki će dijelovi široj publici možda biti previše stručni. Nadam se da jaz između te dvije krajnosti nije prevelik i da to značajnije ne narušava cjelinu.

Knjiga je strukturirana u tri poglavlja. Prvo poglavlje govori o kukuruзу kao jednom od najvažnijih svjetskih usjeva, uključujući morfologiju, fiziologiju, najvažnije čimbenike proizvodnje i upotrebu, a drugo poglavlje govori o podrijetlu kukuruza, njegovom nastanku, razvoju (domestikacija) i kasnijem širenju u Stari svijet. Treće poglavlje opisuje germplazmu kukuruza, njene podjele i tipove, od starih lokalnih sorata i populacija do najmodernijeg oplemenjivačkog materijala, nudi pregled najznačajnijih istraživanja u genetici i oplemenjivanju kukuruza te kratak osvrt na očuvanje germplazme kao vrijednog prirodnog resursa. Neki važniji pojmovi navedeni su na kraju knjige kao dodatak. Za ostvarenje planiranog sadržaja i dovršenje knjige korišteno je ukupno 598 literaturnih izvora. Osim samoga sadržaja, odnosno razrade koncepta unutar tekstualnog dijela, knjiga sadrži i 146 slika, 34 tablična prikaza, 6 grafikona te sažetak na engleskom jeziku. Isto tako, cijela knjiga protkana je ponajprije engleskim, ali i drugim (španjolskim, latinskim) verzijama ključnih riječi kako bi se čitatelji koji žele znati više lakše povezali s daljnjim informacijama o temi.

Kukuruz je jedna od najvažnijih biljaka u povijesti čovječanstva. Unatoč tome, većina ljudi, pogotovo u razvijenim zemljama, doživljava ga tek kao sirovinu koja se može eksploatirati u našu korist. Ova knjiga ima zadatak proširiti to gledište, predstaviti kukuruz kroz njegovu bogatu povijest, evoluciju, nebrojene načine upotrebe, opsežna znanstvena istraživanja te na taj način otkriti – ili bolje rečeno još jednom potvrditi – važnost kukuruza u ljudskom društvu, od davne prošlosti i starih američkih civilizacija do današnjih dana u malome slavonskom selu.

Osijek, kolovoz 2023.



Slika 1. Bog kukuruza, Palacio de Gobierno, Aguascalientes, Meksiko (autor: Oswaldo Barra Cunningham, foto: Vanja Dušić).



Uvod

Kukuruz je jedna od najvažnijih biljaka u povijesti čovječanstva. Kao kulturna biljka koristi se već tisućama godina. U naše je krajeve prvi puta stigao vjerojatno u 16. stoljeću, a nazvan je (između ostalih naziva) *tursko žito*, jer je do ovdašnjih polja vjerojatno dobrim dijelom stigao razgranatim trgovačkim putovima moćnog Osmanlijskog carstva. Od početaka domestikacije u Srednjoj Americi germplazma kukuruza proširivala se u druge krajeve svijeta, uspješno prilagodila proizvodnim uvjetima te vremenom razvila u vrlo veliki broj različitih rasa i tipova. Proizvodnja kukuruza u svijetu je od 2013. godine premašila milijardu tona godišnje (**FAOSTAT** 2023.), što kukuruz čini drugom najviše proizvođenom biljnom vrstom, odmah poslije šećerne trske. Osim nebrojenih namjena u prehrani i prehrambenoj industriji, od kukuruza se danas izrađuju stotine, čak i tisuće raznih proizvoda, uključujući alkohol, tekstil, gume, plastiku, keramiku, gorivo i eksploziv.

Osim samoga procesa domestikacije koji je trajao tisućama godina (**Blake** 2015.) i koji je uključivao razne aktivnosti, procese i etape te ranog širenja kukuruza na sjever prema jugozapadnom dijelu Sjedinjenih Država i na jug prema Andama (**Matsuoka i sur.** 2002.), u novijoj povijesti kukuruza kao kulture vrijedi istaknuti neke važnije događaje ili procese koji se mogu smatrati prekretnicama u njegovoj adaptaciji i širenju. Jedna od takvih prekretnica svakako je introdukcija kukuruza u Stari svijet krajem 15. i početkom 16. stoljeća, nakon čega je zamišljena kukuruzna karta svijeta počela dobivati sasvim nove konture. Neke od ključnih točaka u razvoju kukuruza kao kulture od 19. stoljeća do danas bili su razvijanje populacije Reid Yellow Dent (1846.) (**Reid** 1915.), koja je poslužila kao polazna populacija za mnoge druge sorte i kasnije inbred linije i od koje zapravo potječe dobar dio modernog kukuruza koji se danas proizvodi u svijetu; otkriće kukuruznog moljca koji je prvi puta pronađen u Sjedinjenim Državama 1917. godine (**Vinal** 1917.), a u Europi, odakle je introducirana, poznat je i stoljećima ranije iako je službeno determiniran krajem 18. stoljeća (**Hübner** 1796.); otkriće kukuruzne zlatice (**LeConte** 1868.), koja je postala najopasniji štetnik kukuruza u Americi i zbog koje se na zaštitu samo u Sjedinjenim Američkim Državama troši i preko milijardu dolara godišnje; postavljanje prvih eksperimentalnih pokusa u SAD-u (tzv. *Morrow plots*) 1876. godine i njihovo dugogodišnje praćenje

unaprijedilo je proizvodnju usjeva nekoliko puta (**Morrow i Hunt** 1889.; **Morrow i Gardner** 1893.); otkriće heterozisa i upotreba hibrida (**Shull** 1909., 1910.; **Jones** 1917., 1918.), što je prinos i proizvodnju kukuruza podignulo na puno više razine; stvaranje populacije Iowa Stiff Stalk Synthetic (1934.) (**Sprague** 1946.), koja je postala jedna od ključnih heterotičnih skupina u modernom oplemenjivanju kukuruza; introdukcija inbred linija iz SAD-a u Europu nakon Drugog svjetskog rata te oslobađanje linija zaštićenih patentom (ex-PVP); potvrda teorije o jednom centru podrijetla kukuruza (**Matsuoka i sur.** 2002.); sekvencioniranje genoma kukuruza na liniji B73 (**Schnable i sur.** 2009.) i drugo.

Iako je daljnju budućnost kukuruza i njegove sadašnje upotrebe u svijetu, ali i Hrvatskoj zbog sve bržih promjena teško precizno predvidjeti, ovaj usjev i dalje ostaje najvažnija ratarska kultura na ovim prostorima. Ovisno o proizvodnim površinama i namjeni, moguće je da će se kukuruz više prebacivati s hranidbe stoke na druge načine korištenja kao što je ljudska prehrana te dobivanje alkohola, goriva i drugih proizvoda. Svi trendovi, osim o neizbježnim (ali dugoročno normalnim) klimatskim fluktuacijama, ovise o samoj državnoj politici i daljnjem usmjeravanju gospodarstva, ali i o prehrambenim navikama stanovništva. Na primjeru SAD-a kao glavnog proizvođača kukuruza u svijetu i predvodnika glavnih trendova vidi se značajan prijelaz s proizvodnje kukuruza za stočnu hranu na proizvodnju kukuruza za razne druge namjene. Zanimljivo je da su nakon kontinuiranih dugoročnih opažanja struke o smanjivanju površina pod kukuruzom u Hrvatskoj te površine u zadnjih nekoliko godina u porastu. U vezi povećanja proizvodnih površina pod kukuruzom zanimljivi su i primjeri Ukrajine, Poljske, Bugarske, Turske i mnogih drugih zemalja. Promjene u proizvodnim površinama pod kukuruzom, što se danas u većini slučajeva očituje povećanjem, pokazatelj su trenutne važnosti kukuruza u svjetskoj poljoprivredi i ekonomiji, ali i indikator pravca nekih budućih promjena.

Bennetzen (2009.) predviđa kako će se kukuruz u bližoj budućnosti nastaviti širiti i diverzificirati kao biljka model u istraživanjima, kao industrijski resurs i kao usjev za stočnu hranu i gorivo. Isti autor zaključuje kako će kukuruz zbog svoje velike raznolikosti, pogodnosti za genetička istraživanja i talentirane znanstvene zajednice koja ga proučava, osigurati svoje mjesto u prvome

redu kao model jednoga dobro složenog sustava u biologiji bilja. Ako promatramo dosadašnje gospodarske i društvene trendove kukuruz će vrlo vjerojatno još dugo vremena igrati značajnu ulogu u svjetskoj poljoprivredi, ekonomiji, ali i društvu općenito. Jedna od najvećih prepreka u ispunjavanju te uloge biti će već prisutne klimatske promjene čiji utjecaj na poljoprivrednu proizvodnju u zadnjih nekoliko desetljeća vrlo zabrinjava, a ni prognoze za buduća razdoblja nisu povoljne (**Jägermeyr i sur.** 2021.; **Li i sur.** 2022.).

Kroz mnoga stoljeća kukuruz je utjecao na ljudsku civilizaciju – čovjek je domesticirao kukuruz, ali proces je svakako išao i u obrnutom pravcu (**Blake** 2015.) i nije izgledno da će se to tako skoro promijeniti. Kukuruz je danas jedan od onih pojmova koji se pri raznim projekcijama i predviđanjima budućih događanja i trendova spominju u kategorijama poput *Kakav bi svijet bio bez* ili *Svijet nakon*.



Slika 3. Klipovi kukuruza s komušinom (Biljana Smolčić).

1. Kukuruz kao kulturna biljka

1.1. Gospodarska važnost kukuruza

Kukuruz je danas jedan od najvažnijih svjetskih usjeva. Od početaka domestikacije u Srednjoj Americi, odakle se počeo širiti kao kulturna biljka, pa sve do današnjih dana, kada je globalno zastupljen, prošlo je više tisuća godina. Od malog, ograničenog područja u Srednjoj Americi kukuruz se raširio na oko 200 milijuna hektara po cijelom svijetu uz proizvodnju koja je premašila milijardu tona godišnje (FAOSTAT 2023.) te je uz šećernu trsku, rižu i pšenicu danas najvažniji svjetski usjev (Tablica 1). Biljka je široke adaptabilnosti, uspijeva u najrazličitijim staništima po cijelom svijetu i može ga se naći od 58° sjeverne geografske širine (Rusija, Kanada) do 40° južne geografske širine (Čile, Argentina, Novi Zeland).

*Tablica 1. Četiri najviše proizvođene kulture u svijetu**

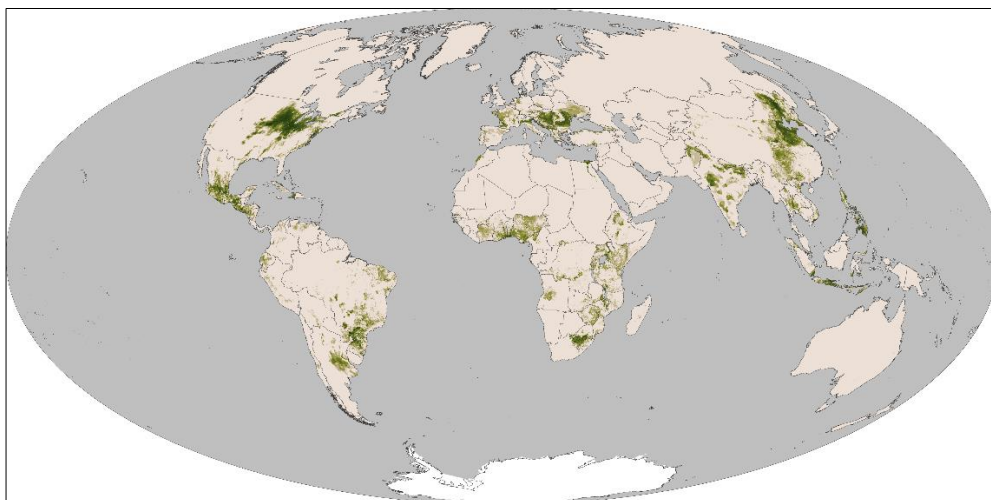
Kultura	Zasijana površina (ha)	Proizvedena količina (t)	Prosječni prinos (t/ha)
Šećerna trska	26 530 701	1 890 069 546	71,23
Kukuruz	198 869 908	1 154 945 360	5,80
Pšenica	217 293 766	759 286 223	3,48
Riža	163 245 954	764 390 788	4,68
Kukuruz (zeleno)	1 123 833	10 474 324	9,30

** Podatci u tablici predstavljaju prosječne vrijednosti u razdoblju od 2017. - 2021.*

Površine, proizvodnja i prinos

Najviše kukuruza godišnje proizvedu Sjedinjene Američke Države (SAD), a listu najvećih svjetskih proizvođača prema dugogodišnjem prosjeku zatvaraju Kina, Brazil, Argentina, Ukrajina, Meksiko, Indija, Indonezija, Francuska, Južnoafrička Republika (JAR), Kanada, Rumunjska, Rusija i Nigerija (Tablica 2). Proizvodnja po godinama u svakoj zemlji varira, nekada i puno više od prosječnog variranja, primjerice Ukrajina je od 2011. godine udvostručila svoju proizvodnju te je danas prema dugogodišnjem prosjeku peti (preko 25

milijuna tona), proizvođač kukuruza u svijetu s gotovo 36 milijuna tona u 2018. i 2019. godini te preko 42 milijuna tona u 2021. godini. Proizvodnja kukuruza u Brazilu dostigla je gotovo 100 milijuna tona u 2017. godini, a u 2019. godini i premašila tu brojku. Od 2013. godine i Rusija drastično povećava proizvodnju na preko 11 milijuna tona što je prema dugogodišnjem prosjeku svrstava na trinaesto mjesto najvećih svjetskih proizvođača kukuruza. U 2021. godini oko 70 % proizvedenog kukuruza otpadalo je na pet najvećih proizvođača (SAD, Kina, Brazil, Argentina i Ukrajina), a sljedećih oko 8 % na Indoneziju, Meksiko, Indiju i Francusku. Ako se u obzir uzmu samo SAD i Kina, njihov udio u količini proizvedenog kukuruza u svijetu iznosi oko 54 %, odnosno preko 56 % prema dugoročnom prosjeku (**FAOSTAT** 2023.). U SAD-u, kao najvećem proizvođaču kukuruza u svijetu, na oko 92 % površina sije se genetički modificirani (GM) kukuruz, dok je svega oko 8 % površina zasijano kukuruzom dobivenim u cijelosti klasičnom selekcijom, što uključuje najvećim dijelom hibride nastale konvencionalnim oplemenjivanjem i sjemenarstvom, ali i stare sorte i populacije (**USDA NASS** 2017.). U Hrvatskoj, kao i u većini zemalja Europske Unije, genetički modificirani kukuruz još uvijek je strogo zabranjen pa su hrvatske površine zasijane isključivo kukuruzom dobivenim konvencionalnim oplemenjivačkim metodama. Zanimljivo je vidjeti proizvodnju kukuruza u Španjolskoj (oko 4,6 milijuna tona u 2021.) i Portugalu (manje od 753 tisuće tona u 2021.), vjerojatno prvim zemljama koje su uvezile kukuruz u Europu. Portugal ipak sve do današnjeg dana nije postao *kukuruzna zemlja*.



Slika 4. Rasprostranjenost kukuruza u svijetu po kontinentima u 2000. godini (izvor: **NASA, Visible Earth, Global Maize 2000**).

Tablica 2. *Proizvodnja zrna kukuruza u svijetu u razdoblju od 2008. do 2021. godine**

Država	Proizvodnja (t)	Država	Proizvodnja (t)
Svijet	1 019 749 855	Poljska	3 816 801
SAD	345 232 417	Malavi	3 396 079
Kina	227 205 303	Kenija	3 395 797
Brazil	76 800 416	Uganda	2 829 765
Argentina	36 452 527	Zambija	2 725 388
Ukrajina	25 520 277	Bugarska	2 572 786
Meksiko	24 531 410	Mali	2 347 987
Indija	24 302 816	Nepal	2 282 435
Indonezija	20 967 689	Bangladeš	2 263 116
Francuska	14 608 060	Austrija	2 180 057
JAR	12 867 336	Gana	2 091 774
Kanada	12 779 447	Sjev. Koreja	2 049 081
Rumunjska	11 495 457	Hrvatska	2 017 818
Rusija	10 596 854	DR Kongo	1 929 088
Nigerija	9 909 261	Kamerun	1 879 892
Etiopija	7 893 246	Angola	1 837 229
Italija	7 566 427	Venezuela	1 832 670
Mađarska	7 520 630	Grčka	1 832 485
Egipat	7 505 445	Gvatemala	1 818 820
Filipini	7 477 668	Mjanmar	1 703 765
Srbija	6 332 053	Mozambik	1 590 989
Tanzanija	5 674 735	Peru	1 571 476
Pakistan	5 756 547	Moldavija	1 567 460
Turska	5 509 571	Kolumbija	1 558 795
Vijetnam	4 857 576	Burkina Faso	1 467 351
Tajland	4 784 162	Benin	1 333 197
Njemačka	4 435 871	Slovačka	1 328 038
Španjolska	4 131 470	Ekvador	1 281 898
Paragvaj	4 094 437	Iran	1 254 896

* U obzir su uzete samo države s godišnjom proizvodnjom većom od 1,25 milijuna tona. Brojke iz ove tablice (kao i iz ostalih tablica i grafikona u knjizi) odnose se na suho zrno (skladišna vlaga zrna od 14 %), ukoliko nije naznačeno drugačije.

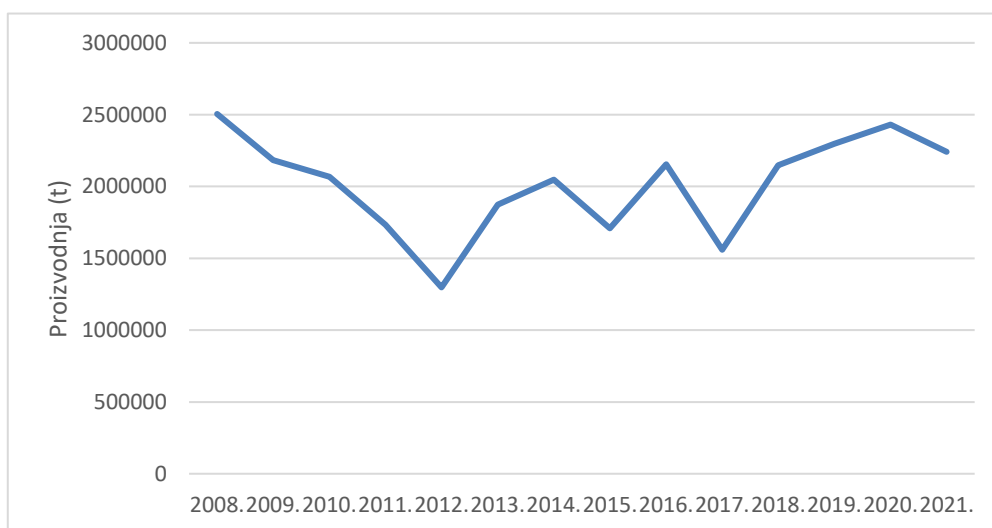
Tablica 3. Petnaest najvećih proizvođača kukuruza u svijetu: proizvodne površine, proizvedena količina i prinos zrna (od 2017. do 2021. godine)

Država	Površina (ha)	Proizvodnja (t)	Prinos (t/ha)
Svijet	198 869 908	1 154 945 360	5,81
SAD	33 431 198	364 742 120	10,91
Kina	42 109 194	262 240 244	6,23
Brazil	17 669 560	94 765 832	5,37
Argentina	7 355 831	53 744 108	7,30
Ukrajina	4 981 140	33 750 008	6,77
Indija	9 493 892	28 556 742	3,01
Meksiko	7 087 340	27 417 770	3,87
Indonezija	4 529 409	24 704 991	5,49
Rumunjska	2 524 882	15 067 927	5,97
JAR	2 850 399	15 038 681	5,25
Kanada	1 417 360	13 786 272	9,73
Francuska	1 521 742	13 747 557	9,06
Rusija	2 643 559	13 605 708	5,15
Nigerija	6 194 771	11 862 079	1,93
Etiopija	2 549 926	10 197 612	4,04

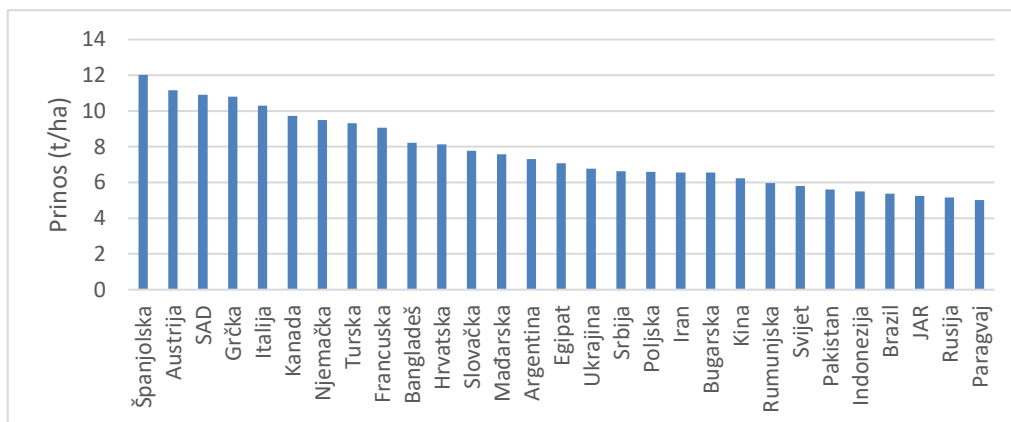
Od zemalja u regiji najveći proizvođači kukuruza su Mađarska, Srbija i Italija s proizvodnjom između 6 i 8 milijuna tona (Tablica 4). Veliki porast površina pod kukuruzom ostvarila je Turska čija je proizvodnja primjerice 2004. godine iznosila oko tri milijuna tona, a 2014. godine gotovo 6,5 milijuna tona. Rumunjska je 2018. godine izbila na prvo mjesto po proizvodnji kukuruza u Europskoj Uniji s preko 18 milijuna tona (oko 17,5 milijuna 2019.), što je svrstava na visoko deveto mjesto u svijetu (12. prema dugoročnom prosjeku). Zanimljiv je primjer rumunjskog susjeda Moldavije, države koja je manja od Hrvatske, a sije kukuruz na gotovo dvostruko većoj površini (Tablica 4). Veliki porast proizvodnje u okviru EU bilježi i Bugarska (s 1,37 milijuna tona 2008. godine na 4,06 milijuna tona 2019. godine). Prema dugogodišnjem prosjeku (2008. - 2021.) Hrvatska s prosječno proizvedenih oko dva milijuna tona godišnje po proizvodnji kukuruza zauzima 41. mjesto na svijetu, 13. u Europi te 10. mjesto u Europskoj Uniji (Tablica 2; Grafikon 1).

Tablica 4. *Proizvodne površine, proizvodnja i prinos zrna kukuruza u nekim zemljama svijeta u usporedbi s Hrvatskom (od 2017. do 2021. godine)*

Država	Površina (ha)	Proizvodnja (t)	Prinos (t/ha)
Mađarska	998 215	7 537 899	7,58
Srbija	976 604	6 445 484	6,63
Italija	611 442	6 279 972	10,29
Turska	663 184	6 170 000	9,32
Poljska	763 393	5 098 912	6,59
Španjolska	342 976	4 122 877	12,01
Njemačka	421 794	4 007 820	9,49
Bugarska	511 646	3 317 252	6,55
Hrvatska	262 948	2 135 592	8,13
Moldavija	480 780	1 910 812	3,90
Slovačka	191 744	1 446 200	7,55
Grčka	118 365	1 280 464	10,80
BiH	195 729	1 107 400	5,66
Bjelorusija	186 201	1 030 249	5,56
Češka	86 469	702 211	8,04



Grafikon 1. *Godišnja proizvodnja zrna kukuruza u Hrvatskoj od 2008. do 2021. godine; u petogodišnjem razdoblju od 2008. do 2012. godine proizvodnja opada, što kulminira najvećim padom u 2012. godini, nakon čega (uz nešto slabiju 2017. godinu) lagano raste.*



Grafikon 2. Države s najvišim prinosom zrna po jedinici površine u svijetu (prosječna vrijednost u razdoblju od 2017. do 2021.); u obzir su uzete samo države s proizvodnjom većom od 1,25 milijuna tona prema dugogodišnjem prosjeku (Tablica 2).

Zemlje u kojima se postižu najviši prosječni prinosi kukuruza (preko 10 t/ha) su Španjolska, Austrija, SAD, Grčka i Italija, a blizu toga prosjeka su Kanada, Njemačka, Turska i Francuska s preko 9 t/ha, uz svjetski prosjek od 5,81 t/ha (Tablica 5; Grafikon 2) (FAOSTAT 2023.). Od navedenih najvećih proizvođača iz Tablica 2 i 5, najniži prinos po jedinici površine bilježe afričke zemlje DR Kongo, Mozambik, Angola, Benin, Kenija, Tanzanija, Burkina Faso, Kamerun, Nigerija i Malavi. Zbog siromaštva, odnosno slabijih mogućnosti korištenja suvremene agrotehnike te upotrebe sorata umjesto hibrida afrička proizvodnja kukuruza i dalje je prikovana za samo dno ljestvice, ne toliko po količini proizvodnje (prema dugogodišnjem prosjeku Južnoafrička Republika je deseti, Nigerija četrnaesti, Etiopija petnaesti, a Egipat osamnaesti proizvođač kukuruza u svijetu), nego po učinkovitosti (prinosi ispod dvije pa čak i ispod jedne tone po hektaru). Primjerice u Nigeriji je kukuruz 2019. godine bio zasijan na gotovo sedam milijuna hektara (6,86 milijuna ha) kako bi se proizvelo oko 11 milijuna tona zrna, dok se u Argentini iste godine na tek nešto većoj površini (7,2 milijuna ha) proizvelo gotovo 57 milijuna tona, a u Španjolskoj se na samo oko 350 000 ha proizvelo preko četiri milijuna tona (FAOSTAT 2023.). Kada se u obzir uzme prinos po jedinici površine, od pedesetak najvećih proizvođača kukuruza u svijetu deset od zadnjih deset u poretku su afričke zemlje, a u zadnjih dvadeset zemalja četrnaest su iz Afrike, tri iz Azije i tri iz Latinske Amerike. Na drugom kraju ljestvice od prvih deset zemalja šest je iz Europe, a od prvih dvadeset zemalja trinaest je iz Europe, tri iz Azije, po jedna iz Južne Amerike i Afrike, uz SAD i Kanadu.

Tablica 5. Prosječni prinos zrna po jedinici površine u razdoblju od 2017. do 2021. godine*

Država	Prinos (t/ha)	Država	Prinos (t/ha)
Španjolska	12,01	Vijetnam	4,79
Austrija	11,16	Ekvador	4,64
SAD	10,91	Tajland	4,47
Grčka	10,80	Sjev. Koreja	4,07
Italija	10,29	Etiopija	4,04
Kanada	9,73	Moldavija	3,90
Njemačka	9,49	Meksiko	3,87
Turska	9,32	Mjanmar	3,84
Francuska	9,06	Kolumbija	3,75
Bangladeš	8,22	Peru	3,45
Hrvatska	8,13	Venezuela	3,28
Slovačka	7,77	Filipini	3,16
Mađarska	7,58	Indija	3,01
Argentina	7,30	Nepal	2,82
Egipat	7,07	Mali	2,76
Ukrajina	6,77	Uganda	2,73
Srbija	6,63	Zambija	2,44
Poljska	6,59	Gana	2,37
Iran	6,56	Gvatemala	2,18
Bugarska	6,55	Malavi	2,06
Kina	6,23	Nigerija	1,93
Rumunjska	5,97	Kamerun	1,77
Svijet	5,81	Burkina Faso	1,72
Pakistan	5,61	Tanzanija	1,67
Indonezija	5,49	Kenija	1,63
Brazil	5,37	Benin	1,21
JAR	5,25	Angola	1,04
Rusija	5,15	Mozambik	0,86
Paragvaj	5,01	DR Kongo	0,77

* Prosječna vrijednost iz dugogodišnjeg prosjeka bila bi nešto manja za svaku pojedinu zemlju. U obzir su uzete samo države s proizvodnjom većom od 1,25 milijuna tona prema dugogodišnjem prosjeku (Tablica 2).

Kada se gleda proizvodnja kukuruza u odnosu na ukupnu populaciju zemlje proizvođača, najviše kukuruza po stanovniku godišnje proizvede se u SAD-u (gotovo jedna tona), dok u Meksiku taj broj malo premašuje 330 kg, a u Indiji tek nešto malo preko 20 kg. Svjetski prosjek nešto je manji od 136 kg po stanovniku godišnje (Tablica 6; **USDA FAS** 2017.).

Tablica 6. Proizvodnja kukuruza u nekim državama u odnosu na broj stanovnika u 2017. godini

Država	Proizvedena količina (kg) po stanovniku godišnje
Sjedinjene Američke Države	978,04
Kanada	398,72
Meksiko	330,45
Brazil	298,80
Argentina	268,87
Južnoafrička Republika	215,47
Južna Koreja	202,26
Kina	173,27
Egipat	167,96
Vijetnam	153,26
Iran	146,13
Europska Unija	145,35
Svijet	135,71
Japan	119,18
Rusija	69,54
Indonezija	47,23
Indija	20,36

Ako se uspoređuje godišnja proizvodnja kukuruza s ostalim ratarskim kulturama, voćem i povrćem, kukuruz se svrstava na drugo mjesto po količini proizvodnje, odmah iza šećerne trske, što znači da je istovremeno i najviše proizvođena žitarica. U razdoblju od 2017. - 2021. godine proizvelo se 1,15 milijarda tona kukuruza, dok je prosječna proizvodnja šećerne trske u istom petogodišnjem razdoblju iznosila gotovo dvije milijarde tona. Po proizvedenim

količinama najbliži kukuruzu su riža, na trećem mjestu s oko 764 milijuna tona i pšenica, na četvrtom mjestu s gotovo 760 milijuna tona, dok su na petom mjestu krumpir (preko 370 milijuna t), na šestom soja (oko 353 milijuna t), na sedmom kasava (preko 300 milijuna t), na osmom šećerna repa (gotovo 279 milijuna t), na devetom rajčica (oko 183 milijuna t), a deset najvećih kultura zatvara ječam s proizvodnjom od oko 150 milijuna tona. Od kultura koje proizvodnjom premašuju 100 milijuna tona godišnje na listi su još vrlo popularne banana, lubenica i crveni luk. Osim proizvodnje u zrnju, što predstavlja većinu proizvedenog kukuruza, u svijetu se u istom razdoblju proizvelo i oko 10,5 milijuna tona zelenog kukuruza za silažu i druge namjene. Za usporedbu, u istom razdoblju u svijetu se proizvelo nešto više od 683 000 tona dunja i oko milijun tona lješnjaka (Tablica 7; FAOSTAT 2023.).

Tablica 7. Proizvodnja raznih ratarskih usjeva, voća i povrća u svijetu u usporedbi s kukuruzom (od 2017. do 2021. godine)

Kultura	Proizvodnja (t)	Kultura	Proizvodnja (t)
Šećerna trska	1 890 069 546	Naranča	75 014 018
Kukuruz (zr)	1 154 945 360	Uljana repica	73 525 588
Riža	764 390 788	Kupus	71 246 493
Pšenica	759 286 223	Kokos	62 795 690
Krumpir	370 382 801	Sirak	58 923 481
Soja	353 447 534	Patlidžan	56 085 034
Kasava	300 534 535	Suncokret	53 045 119
Šećerna repa	278 774 321	Mandarina	37 484 359
Rajčica	183 197 908	Paprike (ze)	35 756 517
Ječam	150 335 081	Špinat	30 070 638
Banana	118 811 189	Proso	29 914 594
Lubenica	101 460 433	Ananas	27 954 226
Crveni luk	101 130 397	Grah (zr)	27 467 767
Batat	90 392 196	Bijeli luk	27 300 754
Jabuka	88 026 492	Kruška	24 491 075
Krastavci	87 946 469	Breskva i nekt.	24 300 018
Grožđe	76 234 828	Zob	23 800 042
Jam	75 692 563	Bundeve	23 515 416

* zr = zrno; ze = zeleno

Tablica 7. (nastavak) Proizvodnja raznih ratarskih usjeva, voća i povrća u svijetu u usporedbi s kukuruzom (od 2017. do 2021. godine)

Kultura	Proizvodnja (t)	Kultura	Proizvodnja (t)
Grah (ze)	23 251 430	Kivi	4 290 142
Maslina	22 871 634	Marelica	4 005 430
Limun i limeta	19 565 234	Badem (lju)	3 601 444
Grašak (ze)	18 761 900	Orah (lju)	3 224 831
Slanutak	15 449 947	Trešnja	2 603 065
Pšenoraž	14 286 983	Kesten	2 191 929
Grašak (zr)	14 185 442	Artičoka	1 511 377
Papaja	13 942 413	Višnja	1 434 443
Raž	12 960 777	Smokva	1 297 112
Šljiva	11 999 388	Lješnjak (lju)	1 028 200
Kukuruz (ze)	10 474 324	Pistacija	1 014 556
Kava (ze)	10 126 160	Borovnica	927 812
Jagoda	8 772 768	Malina	800 239
Avokado	7 408 462	Papar	762 812
Leća	6 315 898	Dunja	683 507
Čaj	6 031 544	Brusnica	538 121
Kakao	5 490 298	Cimet	218 725
C. luk (mladi)	4 531 045	Kvinoja	157 969
Paprike (su)	4 467 955	Vanilija	6960

* zr = zrno; ze = zeleno; lju = s ljuskom; su = sušeno

Današnja svjetska proizvodnja kukuruza od preko milijardu tona zahtijeva površine od gotovo 200 milijuna hektara. Za usporedbu, 1980. godine ukupna svjetska proizvodnja iznosila je oko 397 milijuna tona na površini od oko 126 milijuna hektara (FAOSTAT 2023.), iz čega je vidljivo da se proizvodnja u zadnjih 40 godina gotovo utrostručila. Uzrok tomu je, osim samog povećanja površina, poboljšavanje proizvodnih uvjeta, usavršavanje agrotehničkih mjera, ali i napredak u genetici i oplemenjivanju kukuruza. Zanimljivo je pogledati proizvodnju kukuruza u pojedinim regijama svijeta (Tablica 8), odnosno usporedbu proizvodnih količina 1961. i 1991. godine s današnjim vrijednostima te njihov relativni porast (FAOSTAT 2023.). Najveći porast proizvodnje u razdoblju od 1961. do danas dogodio se u Aziji (čak + 1155 %) i Južnoj Americi

(+ 993 %). Ako se uzme Amerika ukupno proizvodnja od oko 573 milijuna tona predstavlja oko 50 % ukupne svjetske proizvodnje.

Tablica 8. Proizvodnja kukuruza na svim kontinentima i u nekim specifičnim svjetskim regijama 1961. i 1991. te danas (od 2017. do 2021. godine)

Regija	Proizvodnja (t)			Porast (%)
	1961.	1991.	2017. - 2021.	
Svijet	205 027 246	494 402 007	1 154 945 360	+563
Amerika [#]	116 312 914	251 104 893	572 605 123	+492
Sjeverna Amerika ⁺	92 129 912	197 280 780	378 528 392	+411
Azija	31 601 108	133 217 167	364 863 559	+1155
Južna Amerika	16 314 418	36 583 883	162 062 797	+993
Europa	40 795 200	72 835 152	127 401 714	+312
Afrika	16 147 243	36 863 136	89 513 416	+554
Europska unija	18 504 742	50 279 094	68 847 408	+372
Srednja Amerika ⁺	7 469 003	16 939 809	31 444 617	+421
Karibi	399 581	300 421	569 316	+143
Oceanija	170 781	381 659	561 548	+329
Australija	168 892	377 089	537 352	+318
Sovjetski Savez [*]	17 113 008	9 788 000	-	-
Jugoslavija [*]	4 554 000	11 557 000	-	-

Odnosi se na Ameriku ukupno, Sjevernu, Srednju i Južnu.

+ U Sjevernu Ameriku uračunate su samo SAD i Kanada, bez Meksika, koji je priključen Srednjoj Americi.

** Nema novijih podataka, nakon raspada Jugoslavije i Sovjetskog Saveza podatci se od 1992. godine do danas generiraju za svaku državu posebno.*

Razvoj poljoprivrede uzrokovao je konstantno povećanje broja ljudi na Zemlji. U dvadesetom stoljeću, pogotovo poslije Drugog svjetskog rata, dogodila se prava eksplozija rasta svjetske populacije pa se sve više nametao novi veliki izazov – kako prehraniti stanovništvo čiji broj sve više (i sve brže) raste. Jedan od glavnih ciljeva bio je ostvariti dovoljan broj kalorija po jedinici površine, što se najučinkovitije moglo napraviti korištenjem ratarskih usjeva koji sadrže puno ugljikohidrata poput kukuruza, pšenice i riže. Proizvodnja takvih usjeva omogućavala je uzgoj na ogromnim površinama koristeći relativno mali broj

ljudi. Za usporedbu, u Tablici 9 prikazani su prosječni prinosi raznih kultura uzgajanih u Sjedinjenim Američkim Državama i svijetu u petogodišnjem razdoblju od 2017. do 2021. godine (FAOSTAT 2023.). Od kultura s izrazito visokim prinosom po jedinici površine u SAD-u ističu se rajčica s gotovo 96 t/ha (ali samo oko 37 t/ha u svijetu), spomenuta šećerna trska s preko 82 t/ha (oko 71 t/ha u svijetu), šećerna repa s oko 69 t/ha (oko 60 t/ha u svijetu), jagoda s oko 60 t/ha (samo oko 23 t/ha u svijetu) i krumpir s oko 50 t/ha (samo oko 22 t/ha u svijetu). Sjedinjene Američke Države zemlja su u kojoj se puno ulaže u poljoprivredu, što je vidljivo iz ovakvih i sličnih pokazatelja poput ukupne proizvodnje. Od navedenih kultura iz Tablice 9 jedino papaja, špinat, banana i grah (zeleni) ostvaruju znatno veće prosječne prinose u svijetu nego u SAD-u, a pšenica, zob, raž i suncokret tek nešto veće. Ni kukuruz nije iznimka u slučaju SAD-a (prinos 10,91 t/ha nasuprot 5,81 t/ha u svijetu).

Tablica 9. Prinos nekih važnih kultura u odnosu na kukuruz u Sjedinjenim Državama i svijetu (od 2017. do 2021. godine)

Kultura	Prinos (t/ha)		Kultura	Prinos (t/ha)	
	SAD	Svijet		SAD	Svijet
Rajčica	95,69	36,56	Marelica	10,04	7,22
Šećerna trska	82,25	71,23	Trešnja	9,51	5,98
Šećerna repa	69,01	60,16	Banana	9,17	23,00
Jagoda	60,21	22,61	Riža	8,52	4,68
Krumpir	49,92	21,52	Maslina	6,90	2,08
Lubenica	40,31	33,13	Sirak	4,51	1,45
Jabuka	39,62	18,66	Ječam	3,94	3,03
Kruška	36,48	17,73	Soja	3,34	2,82
Ananas	28,32	26,49	Grah (ze)	3,27	14,82
Batat	22,73	12,15	Pšenica	3,22	3,49
Papaja	20,03	29,65	Zob	2,28	2,46
Breskva	19,45	16,37	Grah (zr)	2,16	0,78
Kukuruz (ze)	18,00	9,30	Raž	2,10	3,03
Grožđe	16,22	11,12	Uljana repica	1,89	2,06
Špinat	14,79	32,71	Suncokret	1,84	1,92
Šljiva	14,04	4,64	Proso	1,62	0,96
Kukuruz (zr)	10,91	5,81	Leća	1,17	1,17

Cijena merkantilnog kukuruza u svijetu krajem 2020. godine iznosila je od 160 do 190 američkih dolara (USD) za tonu proizvedenog kukuruza (FAOSTAT 2023.), a oko 233 USD za tonu krajem 2021. godine (CBOT-CME 2021.). Neki od vrhunaca dosegnuti su primjerice u lipnju 2008. godine (303,24 USD/t), rujnu 2011. godine (329,71 USD/t) i srpnju 2012. godine (342,11 USD/t). Ova cijena u svijetu obično iznosi manje od 200 USD/t (iznimke su primjerice razdoblja od siječnja do listopada 2008. godine, od rujna 2010. do srpnja 2014. godine i kratko u lipnju 2019. godine) (FAOSTAT 2023.). Za usporedbu, cijena jedne tone kukuruza 2014. godine iznosila je u nekim državama svijeta 146,0 USD (SAD), 441,9 USD (Kina), 185,9 USD (Brazil), 143,2 USD (Argentina), 146,8 USD (Ukrajina) te 226,9 USD (Rumunjska). Cijena merkantilnog kukuruza u Hrvatskoj općenito iznosi od oko 9 do 20 Euro centi po kilogramu zrna. Cijena jedne tone merkantilnog kukuruza 2019. godine u Hrvatskoj iznosila je oko 118 Eura za tonu zrna, dok je ta vrijednost 2020. godine iznosila oko 129 Eura za tonu zrna (DZS 2021.b). Kako je svaka proizvodna godina podložna mnogobrojnim utjecajima okoline i tržišta, cijena merkantilnog kukuruza od godine do godine manje ili više varira. Primjerice, pandemija koronavirusa ozbiljno je poremetila gospodarske tokove u 2020. i 2021. godini, što se odrazilo i na cijene kukuruza koje su u Hrvatskoj jedno vrijeme u 2021. godini dosezale čak i do 40 Euro centi po kilogramu. Isto tako, od početka 2022. godine traje rat u Europi nakon što je Rusija napala Ukrajinu. Kako je Ukrajina peti svjetski proizvođač kukuruza i sedmi pšenice, a Rusija jedanaesti svjetski proizvođač kukuruza i treći pšenice (FAOSTAT 2023.) te globalni izvoznik energenata, sve to značajno utječe na cijene gotovo svih čimbenika poljoprivredne proizvodnje. Cijena merkantilnog kukuruza na svjetskom tržištu u rujnu 2022. godine iznosila je oko 6,75 USD po bušelu, što je oko 266 USD po toni (CME 2022.), odnosno oko 27 Euro centi po kilogramu.

Napomena: svi korišteni podatci sa stranice FAOSTAT u ovome dijelu i dalje u knjizi preuzeti su zaključno sa srpnjem 2023. godine (osim za Tablicu 2, zaključno s ožujkom), što znači da većina najnovijih podataka uključuje 2021. godinu kao zadnju godinu s dostupnim podacima. Kako metodologija unutar FAOSTAT platforme uključuje ažuriranje podataka (neki podatci u vrijeme objavljivanja nisu službeni, neki su samo procijenjeni, neki službeni su revidirani i naknadno zamijenjeni i slično), vrijednosti koje su navedene u knjizi mogle bi već u vrijeme njenog tiskanja biti nešto drugačije. No, u svakom slučaju ažurirani podatci ne mijenjaju previše ukupnu sliku proizvodnje kukuruza, zasijanih površina, prinosa ili drugih važnih varijabli, kako u smislu pojedinačnih zemalja, tako i u slučaju većih regija ili svijeta u cjelini.



1.2. Morfologija i fiziologija

Jedna od osnovnih podjela kritosjemenjača (eng. *flowering plants* ili *angiosperms*) je podjela na jednosupnice (eng. *monocotyledons*) i dvosupnice (eng. *dicotyledons*), ovisno o tome ima li biljna vrsta jedan ili dva klicina listića. Kukuruz kao i sve trave pripada jednosupnicama, po trajanju vegetacije je jednogodišnja (eng. *annual*) i jara kultura (eng. *spring crop*), a prema položaju i organizaciji spolnih organa jednodomna (eng. *monoecious*) biljka, što znači da biljka sadrži i ženske i muške spolne organe koji su razdvojeni, odnosno ne nalaze se zajedno u jednom cvijetu kao što je slučaj kod mnogih drugih biljaka. Po izgledu kukuruz je čvrsta, robusna biljka čija se stabljika sastoji od više nodija i internodija, a može narasti i do nekoliko metara visine. Prema fotosintetičkom procesu asimilacije ugljika iz CO₂ (eng. *Hatch-Slack pathway*) (**Hatch i Slack** 1966.; **Slack i Hatch** 1967.) ubraja se u C₄ biljke, što znači da bolje iskorištava sunčevo svjetlo i CO₂ te na taj način povećava učinkovitost fotosinteze i proizvodnje organske tvari. Evolucija C₄ tipa fotosinteze prilagodba je koju su biljke razvile kako bi učinkovitije obavljale fotosintezu pri nižim razinama CO₂ u zraku i u uvjetima smanjene dostupnosti vode (**Osborne i Sack** 2012.). Fotosinteza je jedan od najfascinantijskih procesa u prirodi, kojim biljke uz pomoć sunčeve svjetlosti, ugljik(IV)-oksida, vode i specijaliziranih molekula klorofila stvaraju organsku tvar i kisik kao nusproizvod (**Bassham i sur.** 1956.). Utjecaj fotosinteze na rast, razvoj i u konačnici prinos kukuruza vrlo je široko područje istraživanja koje već desetljećima povezuje agronomiju i fiziologiju kukuruza (**Šimić i sur.** 2014.; **Galić i sur.** 2019.b). Kao i mnoge druge biljke kukuruz je diploidan organizam i u jezgri stanice ima diploidan broj kromosoma ($2n = 20^*$).

Već unutar same podvrste *Zea mays mays* prisutna je vrlo velika raznolikost, pa se tako najrazličitiji tipovi kukuruza mogu naći u mnogim međusobno vrlo udaljenim svjetskim regijama. U Tablici 10 prikazan je kratak pregled nekih svojstava kukuruza i njihovo variranje. Podatci su prikupljeni na temelju brojnih istraživanja, neobjavljenih podataka, informacija s terena i osobne komu-

* Iako sadržaj ove knjige ne uključuje detaljnije objašnjavanje genetike i genomike kukuruza, nešto više informacija o tome nalazi se u četvrtom dijelu trećeg poglavlja (Istraživanja u genetici i oplemenjivanju kukuruza) te u dodatku, odnosno pojmovniku na kraju knjige.

nikacije s mnogim znanstvenicima, stručnjacima i proizvođačima kukuruza, iako općenito nema puno modernih znanstvenih radova u kojima je ispitivana osnovna morfologija kukuruza (visina biljke, broj klipova po biljci i druga svojstva koja su se nekada rutinski istraživala). Prema Guinnessovoj knjizi rekorda najdulji klip (92 cm, B. Lavery) uzgojen je 1994. godine u Velikoj Britaniji (**GWR** 1994.), a biljka kukuruza s najviše klipova (čak 29, M. Jacovelli) uzgojena je 2019. godine u New Jerseyju (SAD) (**GWR** 2019.). U istoj bazi naveden je i rekord za najvišu stabljiku kukuruza šećerca (10,74 m, J. Karl), ostvaren 2011. godine u New Yorku (SAD) (**GWR** 2011.).

Tablica 10. Varijabilnost nekih svojstava kod kukuruza

Svojstvo	Variranje
Trajanje vegetacije (dani)	70 - 330
Broj primarnih korijena	1 - 15
Broj sekundarnih korijena	do 30
Visina biljke (m)	0,5 - 10,5
Promjer stabljike (cm)	1,5 - 5
Broj nodija po stabljici/listova po biljci	8 - 22
Broj zaperaka po biljci	1 - 8
Broj klipova po biljci	1 - 11
Dužina klipne drške (cm)	3 - 50
Udio oklaska u klipu (%)	10 - 30
Broj grančica u metlici	4 - 50
Broj redova zrna na klipu	6 - 30
Broj zrna u redu	10 - 70
Masa 1000 zrna (g)	35 - 1000

Čovjek je umjetnom selekcijom birao ciljana svojstva koja su označena poželjnim kod kulturnih biljaka, međutim, u pokušaju da ciljani geni (aleli) ostanu fiksirani u populaciji, zajedno s njima naslijeđeni su i određeni aleli odgovorni za razna nepoželjna svojstva (koncept vezanosti gena). Dakle, određena svojstva negativno utječu na prinos i otežavaju proizvodnju kukuruza. Biljke kod kojih se ta svojstva pojave u procesu oplemenjivanja eliminiraju se u ranim fazama selekcije. Na idućim slikama prikazana su neka od tih svojstava.



Slika 6. Pojava klipa na metlici (eng. tassel seed), uzrokovana genima poput *ts₂*, *ts₄*, *Ts₅*, *Ts₆* (Neuffer i sur. 1968., 1997.).



Slike 7 - 9. Djelomični albinizam (geni poput *sr₁*, *sr₂*, *ij*, *wd*; lijevo sredina). Pojava zaperaka (zaperci crpe vodu i mineralne tvari koji bi inače bili usmjereni u glavnu stabljiku i klip; gore). Proključavanje zrna na klipu (viviparija) izrazito je nepoželjno svojstvo koje se javlja kada zrno ne uspije na vrijeme otpustiti vlagu (geni kao što su *vp₂*, *vp₅*, *vp₉*; dole) (Neuffer i sur. 1968., 1997.).



Slika 10. Potpuni albinizam (biljke koje ne uspiju razviti klorofil sigurno će uginuti zbog nemogućnosti vršenja fotosinteze; neki od gena koji kontroliraju ova svojstva su *w₃*, *l₁*, *l₂*, *l₆*; gore) (Neuffer i sur. 1968., 1997.).





Slike 11 - 12. Razne deformacije klipa, kao što su savijenost, plosnatost, proširenja, suženja i slično, uzrokuju u konačnici nedovoljnu oplođenost klipa. U praksi su ova kve anomalije poznate pod imenom medvjeđa šapa (geni poput ra_1 koji kontrolira grananje klipa; gore) (Neuffer i sur. 1968., 1997.). Svilanje u listu – klip još ne izađe iz rukavca lista, a već počne svilati, što smanjuje dostupnost svile pri oplodnji (desno).

Glavni dijelovi biljke kukuruza

Korijen (eng. *root*) – kada počne klijanje zrna kukuruza, prvo se razvija klicin korjenčić (lat. *radicula*), bočno klicino korijenje (hipokotilno) i mezokotilno korijenje. Ova tri tipa korijena predstavljaju primarno korijenje kukuruza. Sekundarno korijenje razvija se iz podzemnih (podzemno nodijalno) i nadzemnih nodija stabljike (nadzemno nodijalno ili zračno korijenje). Sekundarno korijenje izrasta u obliku vijenaca ili etaža, kojih može biti 5 - 10, ovisno o dužini vegetacije hibrida. Korijenov sustav kod kukuruza većim se dijelom nalazi u oraničnom sloju tla (30 cm), a može prodrijeti i do nekoliko metara u dubinu.

Stabljika (eng. *stalk*) – glatka, čvrsta, žilava, ispunjena parenhimskim tkivom, sastoji se od nodija i internodija. Ovisno o tipu germplazme visine je 1 - 4 metra, iako ima i tipova kukuruza s puno višom stabljikom. Hibridi kukuruza u Hrvatskoj visoki su 2 - 3 metra, visina inbred linija varira uglavnom između 1 - 2 metra, dok visina sorata još više varira (od niskih sorata od jedva metar visine do sorata visokih nekoliko pa i više metara). Ranije u tekstu spomenuto je kako rekordna visina stabljike kukuruza doseže do gotovo 11 metara, međutim, koristeći meksičku rasu poznatu po gigantizmu (*Chiapas 234*), Amerikanac Jason Karl uspio je uzgojiti kukuruz visok 45 stopa, što iznosi gotovo 14

metara (Akst 2017.). Taj rekord Karl je oborio nekoliko godina kasnije kada je uzgojio kukuruz visine 14,69 metara (GWR 2021.). Križanjem rase Chiapas 234 s rasom koja je poznata po dugim internodijima (gen *Leafy1*), korištenjem tropskog okruženja, dodatnog svjetla (produženje dana), vode i hraniva Karl je ne samo porušio vlastiti rekord nego i probio granice koje su se smatrale vjerojatnima kada je u pitanju morfologija i fiziologija kukuruza. Stabljika kukuruza može razviti i sekundarne izdanke (zaperci), ali to je uglavnom karakteristika specifičnih ranozrelijih tipova šećerca, kokičara i egzotične germplazme.

List (eng. *leaf*) – u početku razvoja biljke kukuruz razvija prvo klicin listić (lat. *coleoptila*) kojim se probija iznad površine tla. Ubrzo nakon toga počinje i razvoj prvih pravih listova čiji broj varira ovisno o tipu germplazme. Pravi listovi kod kukuruza izrastaju iz nodija stabljike naizmjenično u spiralnom rasporedu, a sastoje se od rukavca, plojke i jezička. Plojka je zašiljena, dužine do 100 cm, glatka na naličju, s dlačicama na licu, izraženom centralnom žilom i brojnim paralelnim žilicama. Položaj pravih listova može biti okomitiji (položeni) ili paralelniji (uspravni) u odnosu na stabljiku. Osim ove dvije vrste listova postoji i treća vrsta, a to su listovi komušine (eng. *husk leaves*), koji izrastaju iz nodija klipne drške. Listovi komušine su zbijeni, brojni i dobro se preklapaju te na taj način osiguravaju zaštitu klipa od nepovoljnih okolinskih uvjeta. Važno gospodarsko svojstvo komušine je njeno pravovremeno otvaranje jer se na taj način znatno brže gubi vlaga iz zrna. Zanimljivost kod listova komušine je u tome da oni – uz svojstvo dobre pričvršćenosti zrna za oklasak – gotovo sasvim sprječavaju kukuruz od samostalnog širenja sjemena.

Metlica (eng. *tassel*) – muški cvat kod kukuruza, nalazi se na vršnom dijelu biljke. Sastoji se od jedne glavne i više ili manje bočnih grančica. Postoji više tipova metlice kod kukuruza, a glavne su razlike u količini i položaju bočnih grančica (jednostavna metlica s malo bočnih grančica, uspravna, razgranata i slično). Na glavnoj osi metlice i na bočnim grančicama nalaze se u parovima poredani dvocvjetni klasići koji sadrže prašnice, odnosno peludne vrećice ili antere (eng. *anther*) u kojima se nalazi veliki broj peludnih zrna (eng. *pollen grains*). Boja antera varira od žute preko ružičaste do crvene, što daje boju i samoj metlici za vrijeme polinacije. Glavni je zadatak metlice kod kukuruza osigurati dovoljno peluda za kvalitetnu oplodnju. U optimalnim uvjetima za proizvodnju peluda (sunčano, toplo vrijeme, ali ne previsoke temperature) zdrava metlica proizvede ogroman broj peludnih zrna (14 - 18 milijuna).

Klip – ženski cvat zove se klip (eng. *ear*), a nalazi se u pazušcu jednoga od središnjih listova. Sastoji se od zadebljalog klasnog vretena ili oklaska (eng. *cob*) na kojemu se nalaze upareni klasići sa ženskim cvjetovima. Glavni dio ženskog cvijeta je tučak s plodnicom i vrlo dugačkim vratom koji se naziva svila (eng. *silk*) (može biti raznobojna, od zelene i žute do ružičaste i crvenkaste). Svila je vitalni dio biljke kukuruza. Nakon što peludno zrnce padne na svilu, spušta se i dolazi do plodnice gdje se odvija oplodnja. Svaka nit svile omogućuje nastanak jednog ploda, odnosno zrna. Zrno je pričvršćeno na oklask (koji je zapravo modificirano, zadebljano klasno vreteno) i to na najtvrdi dio oklaska (eng. *cupule*) iz kojih izlaze reducirane pljeve (eng. *glumes*) i pljevice (eng. *lemmas and paleas*) (Iltis 2006). Klip stoji na klipnoj dršci (eng. *shank*) koja ima 5 - 6 nodija i internodija. Iz internodija klipne drške rastu listovi komušine koji u nekoliko slojeva prekrivaju cijeli klip. Kod hibrida kukuruza biljke razvijaju uglavnom jedan, ponekad i dva klipa, dok kod drugih tipova germplazme broj klipova po biljci može biti i veći. Stvaranjem elitne germplazme iz egzotičnih populacija broj klipova se smanjivao, ali se veličina klipa povećavala. Udio oklaska u klipu iznosi uglavnom od 12 do 18 %, iako taj raspon može biti i veći.



Slika 13. Klip kukuruza u presjeku – u središtu oklaska je meko, spužvasto tkivo, a sljedeći sloj najtvrdi je dio oklaska na koji je pričvršćeno zrno u dvorednim klasićima. Donji dio zrna obavijaju reducirane pljeve i pljevice. Odnos zrna i oklaska kod komercijalnih hibrida kukuruza kreće se od 90 : 10 do 80 : 20 (premali oklask ne može na sebi nositi dovoljno zrna, a preveliki oklask zbog svoje robusnosti ima velike klipove, ali odnosi dosta prinosa u odnosu na zrno.

Fenološke faze

Svaka biljka ima svoj razvojni put koji se sastoji od više stadija. Postoji nekoliko glavnih podjela razvojnih ili fenoloških faza kod kukuruza. U sljedećem pregledu navedena je podjela prema **Ritchieju i sur.** (1986.) na vegetativnu i reproduktivnu ili generativnu fazu (Tablica 11). Vegetativna faza u razvoju biljke (označena sa *V*) počinje nicanjem klicinih listića i traje do kraja metličanja kada se počinju formirati prve spolne stanice. Reproductivna faza (označena sa *R*) počinje svilanjem i završava stadijem pune zriobe. U nastavku su prikazane i podjele prema **Hanwayu** (1966.) te prema BBCH ljestvici (**Weber i Bleiholder** 1990.; **Lancashire i sur.** 1991.) (prilagođena prema **Pospišil i Pospišil** 2013.).

Tablica 11. Razvojne faze biljke kukuruza

Vegetativna faza		Reproduktivna faza			
Stadij	Oznaka	Stadij	Oznaka	Dana nakon svilanja	Vlaga zrna (%)
nicanje	VE	svilanje	R1	-	-
prvi list	V1	vodenasti sadržaj zrna	R2	10 - 14	85
drugi list	V2	mliječna zrioba	R3	18 - 22	80
treći list	V3	tjestasto stanje	R4	24 - 28	70
n-ti list	V(n)	voštana zrioba	R5	35 - 42	55
metličanje	VT	fiziološka zrelost	R6	55 - 65	30-35

Klijanje (eng. *germination*) i nicanje (eng. *emergence*) – u povoljnim uvjetima u tlu zrno upija vodu, bubri i počinje klijati. Nakon izbivanja prvog, klicinog listića te klicinog korjenčića, počinje nicanje kukuruza. Ubrzo se počinju razvijati prvi pravi listovi, a do faze šest listova konus rasta, začetak klipa i začetak

metlice još su uvijek ispod površine tla. Nicanje se u uvjetima istočne Hrvatske odvija u drugoj polovini travnja i prvoj polovini svibnja, ovisno o roku sjetve i pripadnosti vegetacijskoj skupini.



Slika 14. *Klijanje i nicanje (Vlatko Galić).*



Slika 15. *Mlade, tek iznikle biljke kukuruza u laboratorijskom pokusu.*

Rani porast prethodi ubrzanom izduživanju stabljike i razvoju metlice. Otprilike u fazi V10 biljka počinje ubrzanije nakupljati hraniva i suhu tvar, što je proces koji se nastavlja duboko u reproduktivnu fazu razvoja. Iako se začetak

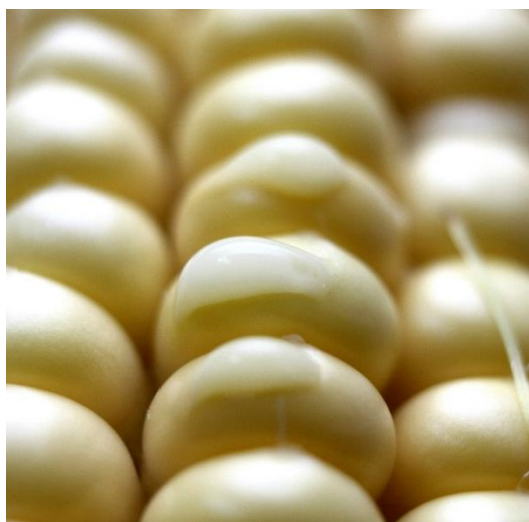
klipa pojavljuje oko V5 faze, u fazi V12 određuje se veličina klipa i broj zrna na klipu. Vegetativna faza V15 udaljena je od reproduktivne faze 10 - 12 dana te predstavlja početak ključnog perioda razvoja biljke u smislu postizanja prinosa. Nakon što se na biljci formira određeni broj listova, metlica malo-pomalo počne izlaziti izvan listova i kada u potpunosti izađe biljka je u fazi metličanja (eng. *tasseling*). Teško je uvijek točno odrediti kada počinje faza metličanja jer postoje određene skupine germplazme kod kojih metlica djelomično ili u potpunosti ne izađe te čak prijeđe u sljedeću fazu prašeći u listu. Nekoliko dana nakon metličanja počinje prašenje metlica (eng. *pollen shedding*), svilanje (eng. *silking*) te oprašivanje ili polinacija (eng. *pollination*). Na području Slavonije i Baranje oprašivanje se odvija uglavnom između kraja lipnja i kraja srpnja, ovisno o roku sjetve i pripadnosti vegetacijskoj skupini.



Sljke 16 - 17. Prašenje metlice (lijevo); mlada svila na klipu.

Svilanje je prva reproduktivna faza (R1) u organogenezi kukuruza. Prašenje metlica traje oko tjedan dana, a pri izrazito vrućem vremenu svega nekoliko dana te bi za to vrijeme trebala izaći sva svila (raste otprilike 2 - 4 cm na dan), kako bi oprašivanje bilo pravovremeno i potpuno. Oprašivanje jednoga klipa traje nekoliko dana, a počinje kada svila (tučak) „uhvati“ polenovo zrnce kojemu treba oko 24 sata da stigne do plodnice gdje se onda odvija oplodnja (eng. *fertilization*). U fazi R2 (eng. *blister*) počinje formiranje i nalijevanje zrna, odvija se otprilike 10 - 14 dana nakon svilanja, u prozirnrom endospermu počinje se nakupljati škrob, klica se još uvijek usporeno razvija, a vlaga zrna je oko 85

% Mliječna zrioba (eng. *milk*), odnosno R3 faza, nastupa 18 - 22 dana nakon svilanja. Zbog nakupljanja škroba endosperm postaje mliječno-bijele boje, klica se počinje ubrzano razvijati, a vlaga zrna je oko 80 %. Slijedi R4 faza ili tjestasto stanje (eng. *dough*), oko 24 - 28 dana poslije svilanja, u kojoj se endosperm zgušnjava i poprima tjestastu konzistenciju, klica se i dalje ubrzano razvija, a vlaga zrna je oko 70 %.



Slike 18 - 19. Zrno u mliječnoj (lijevo) i punoj zriobi (Vlatko Galić).

Voštana zrioba (eng. *dent*) ili R5 faza nastupa 35 - 42 dana nakon svilanja i u njoj su gotovo sva zrna već otvrdnula, stvara se tzv. škrobni pojas (eng. *starch layer*) između otvrdnulog gornjeg žutog dijela zrna i još uvijek nezrelog donjeg voštanog dijela, koji se zriobom pomiče prema dolje. Zrno nadalje gubi vlagu i u ovoj fazi vlaga zrna je oko 55 %. Fiziološka zrelost (faza R6) nastupa 55 - 65 dana nakon svilanja, nakon što nakupljanje suhe tvari zrna dosegne svoj maksimum. Škrobni pojas spušta se progresivno od vrha klipa prema dnu, do oklaska, gdje se počinje formirati tzv. crni sloj (eng. *black layer*), koji označava stanje pri kojemu zrno prekida vezu s oklaskom (biljkom), dakle akumulacija suhe tvari u toj fazi prestaje. Vlaga zrna u fiziološkoj zriobi je oko 30 - 35 %, iako to može varirati ovisno o hibridima i godinama. Vlažno zrno treba se osušiti do skladišne vlage (13 - 15 %) radi optimalnog čuvanja. U uvjetima istočne Hrvatske zrno je u fiziološkoj zriobi od početka rujna do početka studenog, ovisno o vremenu sjetve i pripadnosti određenoj vegetacijskoj skupini. Podjela na fenofaze prema **Hanwayu** (1963.; 1966.) (Tablica 12) uključuje

ljestvicu razvojnih faza od 0 do 10, pri čemu se vegetativno razdoblje označava od 0 do 4, a reproduktivno od 5 do 10. Pripadajuća vremenska razdoblja za svaku fazu razvoja određuju se po tjednima nakon nicanja (faze 0 - 5) i po danima nakon svilanja (faze 6 - 10). U petoj fazi vidljivo je oko 75 % svile, u prašnicama se stvara pelud, metlice praše i odvija se oplodnja (nešto više od dva mjeseca nakon nicanja). Šesta faza odgovara R2 fazi u prethodnoj podjeli, a to je formiranje i nalijevanje zrna. Zrno je fiziološki zrelo otprilike dva mjeseca nakon svilanja (deseta faza koja odgovara R6 fazi u prethodnoj podjeli).

Tablica 12. Fenološke faze kod kukuruza

	Faza	Vremensko razdoblje
0	nicanje	-
0,5	dva lista	1 tjedan nakon nicanja
1	četiri lista	2 tjedna nakon nicanja
1,5	šest listova	3 tjedna nakon nicanja
2	osam listova	4 tjedna nakon nicanja
2,5	deset listova	5 tjedana nakon nicanja
3	dvanaest listova	6 tjedana nakon nicanja
3,5	četrnaest listova	7 tjedana nakon nicanja
4	šesnaest listova	8 tjedana nakon nicanja
5	prašenje, svilanje	66 dana nakon nicanja
6	formiranje i nalijevanje zrna	12 dana nakon svilanja
7	mliječna zrioba i tjestasto stanje	24 dana nakon svilanja
8	početak voštane zriobe	36 dana nakon svilanja
9	kraj voštane zriobe	48 dana nakon svilanja
10	fiziološka zrelost	60 dana nakon svilanja

Podjela na fenofaze prema BBCH (*Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt und Chemische Industrie*) ljestvici (Tablica 13) predstavlja noviju podjelu koja se često navodi u novijoj literaturi. Ljestvica se sastoji od osam glavnih faza rasta, a unutar svake faze postoje oznake i opisi što se točno događa tijekom rasta i razvoja biljke.

Tablica 13. Faze rasta i razvoja kukuruza prema BBCH ljestvici

Faza rasta	Oznaka	Opis
0	00	suho sjeme
	01	početak bubrenja sjemena
	03	završeno bubrenje sjemena
	05	pojava korjenčića izvan sjemena
	06	izduživanje primarnog korjenčića, vidljive k. dlačice i/ili bočno korijenje
	07	pojava klicinog listića
	09	nicanje: klicin listić izlazi na površinu tla
	10	prvi list izlazi iz klicinog listića
	11	razvijen prvi list
	12	razvijena dva lista
1	13	razvijena tri lista
	14 - 18	razvijeno 4 - 8 listova
	19	razvijeno 9 ili više listova
	30	početak izduživanja stabljike
	31	vidljiv prvi nodij
3	32	vidljiva dva nodija
	33	vidljiva tri nodija
	34 - 38	vidljivo 4 - 8 nodija
	39	vidljivo 9 ili više nodija*

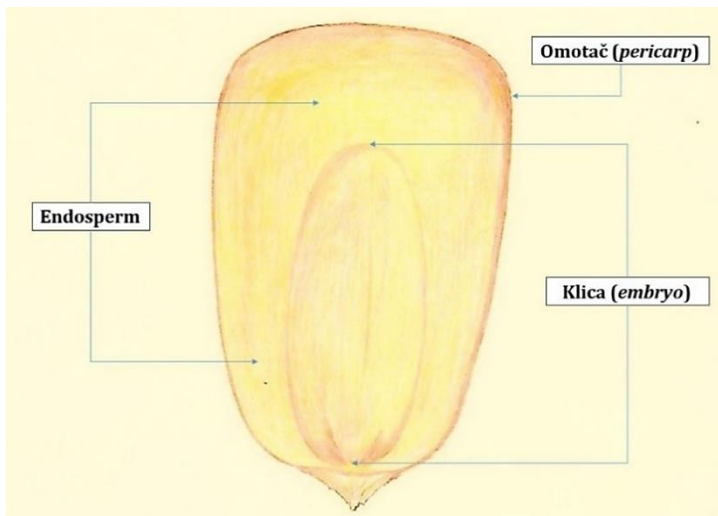
5	Metličanje	51	početak pojave metlice na vrhu stabljike
		53	vidljiv vrh metlice
6	Cvatnja	55	pojava sredine metlice - sredina metlice se počínje odvajati
		59	završetak izduživanja metlice; metlica potpuno vidljiva i odvojena
		60	muški cvjetovi - vidljivi prašnici u sredini metlice ženski cvjetovi - pojava vrha klipa iz listnog rukavca
		63	m. cvjetovi - početak prašenja peluda; ž. cvjetovi - vidljiv vrh svile
		65	muški cvjetovi - cvatnja gornjeg i donjeg dijela metlice ženski cvjetovi - svila potpuno vidljiva
		67	m. cvjetovi - završena cvatnja; ž. cvjetovi - sušenje svile
		69	završetak cvatnje: svila potpuno suha
		71	početak razvoja zrna - razvoj zrna u vodenoj fazi, oko 16 % ST
		73	rana mliječna zrioba
		75	zrna u sredini klipa su žute boje, mliječan sadržaj zrna, oko 40 % ST
7	Razvoj zrna	79	gotovo sva zrna dostigla su punu veličinu
		83	rana faza tijesta - mekan sadržaj zrna, oko 45 % ST
		85	faza tijesta - zrna su žuta, oko 55 % suhe tvari
8	Zrioba	87	fiziološka zrioba - vidljiv crni sloj na bazi zrna, oko 60 % ST
		89	puna zrioba - zrna tvrda i sjajna, oko 65 % suhe tvari
9	Starenje/Odumiranje	97	biljka je suha
		99	požnjeveni proizvod - zrno

* Metlica se može pojaviti ranije.



1.3. Građa i sastav zrna

Zrno (eng. *kernel*) je najvrjedniji dio biljke kukuruza. U botaničkoj klasifikaciji zove se pšeno (lat. *caryopsis*) – jednosjemeni plod s tankim omotačem koji je srastao sa sjemenkom, dakle zrno je istovremeno i plod (lat. *fructus*). Njegovi osnovni dijelovi su omotač zrna koji se sastoji od perikarpa (lat. *pericarp*) i perisperma, endosperm (uključuje i aleuronski sloj) i klica (lat. *embryo*) (Skender i sur. 1998.). Specifičan prirodni fenomen otkriven kod biljaka cvjetnica krajem devetnaestog stoljeća (Nawaschin 1898.) je dvostruka oplodnja (eng. *double fertilization*) pri kojoj jedna peludna jezgra (spolna stanica ili spermij) iz peludnog zrnca oplodi jajnu stanicu iz čega nastaje diploidna zigota i iz nje klica, a druga peludna jezgra spaja se s dvjema polarnim jezgrama u sredini embrionalne vrećice pri čemu nastaje triploidni endosperm (Berger i sur. 2008.).



Slika 21. Glavni dijelovi zrna kukuruza: omotač, endosperm i klica, čiji udio u zrnu je oko 10 %. Kod mnogih biljaka plod je puno veći u odnosu na sjeme (npr. jabuka, kruška, lubenica, rajčica), dok je kod biljaka iz porodice trava svako zrno istovremeno i plod (npr. pšenica, ječam, raž, kukuruz).

Tvrđi omotač zrna štiti sadržaj zrna od vanjskih uvjeta (vlaga, štetnici, bolesti). Većinu suhe tvari zrna (više od 80 %) čini endosperm koji je glavni izvor ugljikohidrata (škroba) u zrnu, ali i rezervna tvar za rast i razvoj klice, odnosno mlade biljke do nicanja. Klica je jedini živi dio zrna koji sadrži genetičke informacije, enzime, vitamine i minerale potrebne za rast biljke. Oko 33 % klice čini ulje koje ima veliku vrijednost zbog toga što u sebi sadrži linolnu kiselinu, esencijalnu nezasićenu masnu kiselinu. Aleuronski sloj vanjski je sloj endosperma koji sadrži bjelančevine i mineralne tvari. Hranjiva vrijednost 100

grama suhe tvari zrna kukuruza iznosi 365 kJ, 74,3 grama ugljikohidrata, 10,4 grama vode, 9,4 grama bjelančevina, 4,7 grama masti i ulja te 1,2 grama minerala (**Agriculture Handbook** 1989.). Osim brojnih makro- i mikroelemenata (P, K, Mg, Ca, Na, Fe, Zn, Mn i drugi), kukuruzno zrno sadrži i mnoge druge vrijedne spojeve kao što su vitamin A (β -karoten), vitamin E (α -tokoferol), tiamin, riboflavin, pantotenska kiselina i drugi. Detaljniji pregled hranjive vrijednosti zrna kukuruza opisan je u sljedećim tablicama: u Tablici 14 prikazan je sastav zrna hibrida tvrduca Tvrtko 303 Poljoprivrednog instituta Osijek (PIO), u Tablici 15 prikazan je sastav suhe tvari u zrnu kukuruza prema **Watsonu** (2003.), a u Tablici 16 prikazan je sadržaj osnovnih sastavnih elemenata u zrnu četrnaest hibrida PIO u tipu zubana. Neki podatci o sastavu zrna u ovome se pregledu preklapaju kako bi se vidio sadržaj sličnih analiza između različitih institucija ili autora.

Tablica 14. Analiza kemijskog sastava zrna hibrida tvrduca Tvrtko 303*

Dijelovi zrna (%)		Fizikalna svojstva zrna	
Perikarp	4,15	Težina 1000 zrna (g)	323,60
Klica	11,45	Vol. 1000 zrna (ml)	375,00
Endosperm	84,40		
- caklavi	63,91	Energ. vrijednost (MJ/kg)	
- brašnavi	20,49	Bruto energija	16,52
Prosječni kemijski sastav zrna (g/kg)			
Osnovni parametri		Minerali	
Vlaga	115,60	Fosfor	2,80
Pepeo	13,50	Fitatni fosfor	2,30
Sirove bjelančevine	86,30	Kalij	3,30
Sirova mast	44,40	Aminokiseline	
Sirova vlakna	16,40	Lizin	2,59
Neutralna deterg. vlakna	87,30	Metionin	1,81
Kisela detergent vlakna	30,30	Metionin + Cistein	3,97
Lignin	5,20	Treonin	3,19
Nedušične ekstrakt. tvari	723,80	Triptofan	0,52
Škrob	718,30	Arginin	4,06

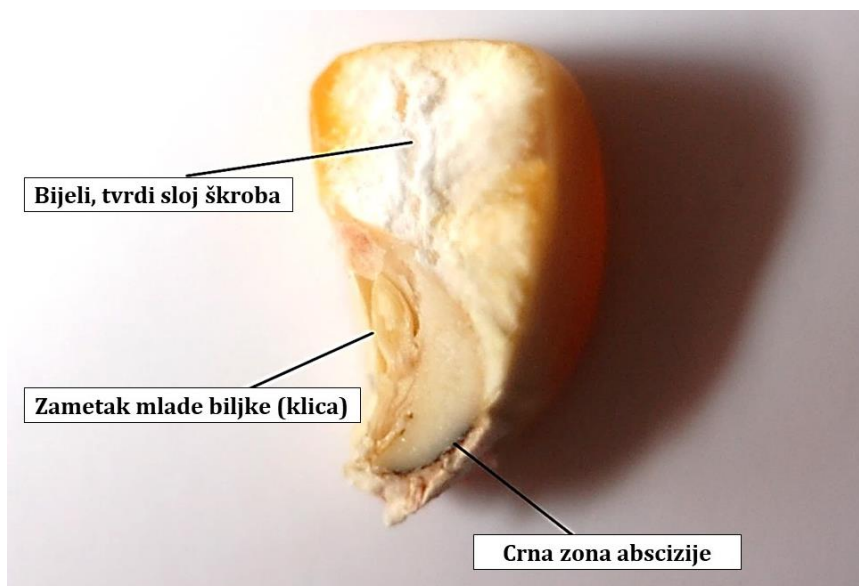
* Analizu proveo Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu 2006. godine.

Nakon berbe, važno je osigurati sušenje (14 % vlage), doradu (čišćenje, selekcija prema frakcijama) i pravilno skladištenje zrna, što uključuje suhe skladišne prostore, po mogućnosti klimatizirane te zaštitu od skladišnih štetnika i bolesti. Neki od najvažnijih skladišnih štetnika kukuruza su kukci iz porodice pipa kao što je kukuruzni žižak (*Sitophilus zeamays*) ili kukci iz porodice leptira kao što je žitni žižak (*Sitotroga cerealella*) te razne vrste glodavaca (miševi, štakori, voluharice, hrčci).

Kada se govori o zrnju kukuruza vrlo je važno napomenuti radi li se o merkantilnom ili sjemenskom materijalu (nešto više o tome napisano je u dodatku na kraju knjige). U okviru sjemenskog materijala važna svojstva sjemena su čistoća, klijavost i energija klijanja. Klijavost je postotak klijavih zrna u određenoj partiji sjemena. Uslijed neodgovarajućih skladišnih uvjeta (npr. visoke i/ili niske temperature) zrno gubi klijavost, a to izravno utječe na prinos. Stoga je potrebno osigurati da klijavost bude najmanje 90 %. Dobra klijavost i energija klijanja mogli bi biti presudna podrška mladoj biljci ukoliko se nađe u nepovoljnim uvjetima u tlu.

Tablica 15. Sastav suhe tvari u zrnju kukuruza, prosječne vrijednosti uzoraka sedam hibrida u tipu žutog zubana

Dio zrna	Suha tvar (%)	Sastav zrna (% suhe tvari)	
		Škrob	Ulje
Endosperm	82,9	87,6	0,80
Klica	11,1	8,3	33,2
Omotač	5,3	7,3	1,0
Vrh	0,8	5,3	3,8
Cijelo zrno	100	73,4	4,4
Dio zrna	Sastav zrna (% suhe tvari)		
	Bjelančevine	Minerali	Šećeri
Endosperm	8,0	0,30	0,62
Klica	18,4	10,5	10,80
Omotač	3,7	0,8	0,34
Vrh	9,1	1,6	1,60
Cijelo zrno	9,1	1,4	1,90



Slika 22. Zrno kukuruza u presjeku (Vlatko Galić).

Tablica 16. Sastav zrna 14 osječkih hibrida kukuruza

Hibrid	Škrob	Ulje	Bjelančevine	Hektolitar (kg/hl)
	(% ST)			
OS 3114	71,7	5,0	8,5	70,6
OS 378	71,8	4,9	8,2	71,3
OS 398	71,1	5,0	8,9	70,6
OSSK 403	71,1	5,3	8,9	72,1
Drava 404	71,2	5,1	8,6	71,1
OS 4014	71,5	4,8	8,6	71,6
OS 4015	71,8	4,9	8,6	68,1
Kulak	71,7	4,6	8,4	70,7
Tomasov	71,8	4,7	8,4	70,8
OSSK 515	71,7	5,2	8,8	67,9
Velimir	71,5	5,1	8,5	69,7
OSSK 635	72,0	4,6	8,0	73,8
Lila	70,6	5,8	8,5	66,0
Rudolfov 60	70,5	5,6	8,6	66,9

*Analizu proveo Agrokemijski laboratorij PIO 2018. godine.

U tablicama 17 - 21 detaljno su prikazani sastavni elementi zrna kukuruza po glavnim skupinama (izvor: **USDA National Nutrient Database** 2016.). Kao uzorak uzeto je 100 grama sirovog zrna kukuruza šećerca žute i bijele boje zrna. Više od $\frac{3}{4}$ zrna kukuruza zauzima voda (Tablica 17), a većina ostatka otpada na ugljikohidrate.

Tablica 17. Sadržaj glavnih sastavnih dijelova zrna kukuruza

Glavni sastavni dijelovi			
Sastavni element	Jedinica	Vrijednost	
		Žuto zrno	Bijelo zrno
Voda	g	76,05	75,96
Energija	kcal	86	86
Bjelančevine	g	3,27	3,22
Masti i ulja (ukupno)	g	1,35	1,18
Ugljikohidrati	g	18,70	19,02
Vlakna	g	2,00	2,70
Šećeri	g	6,26	3,22

Tablica 18. Sastav minerala u zrnu kukuruza

Minerali			
Sastavni element	Jedinica	Vrijednost	
		Žuto zrno	Bijelo zrno
Kalcij (Ca)	mg	2	2
Željezo (Fe)	mg	0,52	0,52
Magnezij (Mg)	mg	37	37
Fosfor (P)	mg	89	89
Kalij (K)	mg	270	270
Natrij (Na)	mg	15	15
Cink (Zn)	mg	0,46	0,45
Bakar (Cu)	mg	0,05	0,05
Mangan (Mn)	mg	0,16	0,16
Selen (Se)	µg	0,60	0,60

Prema mineralnom sastavu u zrnu kukuruza najviše ima kalija, fosfora, magnezija i natrija (Tablica 18). Zrno kukuruza sadrži najviše vitamina C, vitamina B3 te vitamina B5 (Tablica 19). Za usporedbu 100 grama svježeg limuna ili naranče sadrži oko 53 mg vitamina C. (USDA FDC 2020.). Od aminokiselina najviše ima glutamata, leucina, alanina, prolina i aspartata, a vrijednosti svih aminokiselina u zrnu ne prelaze vrijednost od 0,7 g na 100 g sirovog zrna (Tablica 21).

Tablica 19. Sastav vitamina i pigmenta u zrnu kukuruza

Vitamini			
Sastavni element	Jedini- nica	Vrijednost	
		Žuto zrno	Bijelo zrno
Vitamin C (askorbinska kis.)	mg	6,80	6,80
Tiamin	mg	0,16	0,20
Riboflavin	mg	0,06	0,06
Vitamin B3 (niacin)	mg	1,77	1,70
Vitamin B5 (pantotenska kis.)	mg	0,72	0,76
Vitamin B6	mg	0,09	0,06
Folat	µg	42	46
Vitamin A	µg	9	0
β-karoten	µg	47	1
α-karoten	µg	16	0
β-kriptoksantin	µg	115	0
Lutein + zeaksantin	µg	644	34
Vitamin E (α-tokoferol)	mg	0,07	0,07
γ-tokoferol	mg	0,15	0
Vitamin K (filokinon)	µg	0,30	0,30

Kada se gleda kemijski sastav zrna kukuruza, općenito vrijedi istaknuti kako se određene varijable razlikuju ovisno o tipu. Šećerac se primjerice svrstava i u povrće, a jedan od razloga je drugačiji kemijski sastav u odnosu na primjerice tip zubana. Isto tako, tvrdunac se smatra kvalitetnijom sirovinom za dobivanje brašna pa se više preporučuje u ljudskoj prehrani od zubana koji se u velikoj mjeri koristi za hranidbu stoke.

Tablica 20. Sastav lipida u zrnu kukuruza

Lipidi			
Sastavni element	Jedinica	Vrijednost	
		Žuto zrno	Bijelo zrno
Masne kiseline, zasićene	g	0,33	0,18
Masne kis., mono-nezasićene	g	0,43	0,35
Masne kis., poli-nezasićene	g	0,49	0,56

Tablica 21. Sastav aminokiselina u zrnu kukuruza

Aminokiseline			
Sastavni element	Jedinica	Vrijednost	
		Žuto zrno	Bijelo zrno
Triptofan	g	0,02	0,02
Treonin	g	0,13	0,13
Izoleucin	g	0,13	0,13
Leucin	g	0,35	0,35
Lizin	g	0,14	0,14
Metionin	g	0,07	0,07
Cistein	g	0,03	0,03
Fenilalanin	g	0,15	0,15
Tirozin	g	0,12	0,12
Valin	g	0,19	0,19
Arginin	g	0,13	0,13
Histidin	g	0,09	0,09
Alanin	g	0,30	0,30
Aspartat	g	0,24	0,24
Glutamat	g	0,64	0,64
Glicin	g	0,13	0,13
Prolin	g	0,29	0,29
Serin	g	0,15	0,15



1.4. Agroekološki uvjeti

Kukuruz je kultura širokog areala rasprostranjenosti, a uzgaja se do 58° sjeverne geografske širine (Kanada, Rusija) i do 42° južne geografske širine (Argentina, Novi Zeland). Za normalan razvoj biljka kukuruza zahtijeva određene agroekološke uvjete. Okolinski čimbenici bez kojih kukuruz ne može preživjeti su voda, toplina, svjetlost i tlo.

Voda – za vrijeme trajanja vegetacije kukuruzu je potrebno dosta vode (ta količina za vrijeme vegetacije iznosi 500 - 800 mm). No, unatoč tome, kukuruz je zapravo relativno tolerantan na sušu i učinkovito koristi vodu – ima nizak transpiracijski koeficijent i zahtijeva 250 - 300 g vode za stvaranje jednog grama suhe tvari (za usporedbu, kod pšenice je ovaj koeficijent 450 - 600, a kod lucerne 600 - 1000). Količina vode u tlu bitan je čimbenik u proizvodnji kukuruza – što je manja zaliha vode u tlu, više će oborina usjev trebati tijekom vegetacije (**Thompson** 1969.). Na temelju odnosa evapotranspiracije i dostupnosti vlage u tlu razvijeno je više raznih koncepata stresa uzrokovanog sušnim uvjetima (eng. *moisture stress concept*) (**Philip** 1957.; **Gardner** 1960.).

Nakon sjetve zrno treba imati dovoljno vlage u tlu kako bi počelo bubriti i klijati. Najveće potrebe kukuruza za vodom su u razdoblju od metličanja do poslije oplodnje, što u našim uvjetima obično bude u drugoj polovini lipnja i u srpnju. Međutim, u ostalim fazama razvoja, pogotovo onim ranijima, biljke su također osjetljivije na nedostatak vode (primjerice proljetna suša nakon sjetve, koja je nekada bila rijetkost, u zadnje vrijeme sve se češće pojavljuje, uzrokujući usporeno klijanje i nicanje te pomicanje kritičnih faza vegetacije u vodno i toplinski manje povoljna razdoblja). S druge strane, višak vode u slučaju čestih i dugotrajnijih kiša nepovoljan je za kukuruz, npr. 2010. godina bila je godina velikih poplava u Slavoniji i Baranji pa se jasno mogao vidjeti utjecaj viška vode na usjeve kukuruza – usporen rast, kloroza (Slika 24). Istražujući utjecaj poplavlivanja na prinos kukuruza **Ritter i Beer** (1969.) navode kako se kod mladih biljaka koje su pri slabijoj gnojidbi dušikom bile poplavljene 24, 48 i 72 sata prinos smanjio za 18, 22 i 32 %. Osim poplave, velike štete za biljke kukuruza može uzrokovati led – oštećivanje lisne plojke utječe na smanjenu učinkovitost fotosinteze (Slika 25). Jača tuča koja sadrži krupnije frakcije leda može otrgnuti i cijele listove, ostavljajući голу stabljiku i nanoseći tako velike štete usjevima.



Slika 24. Utjecaj poplavljenosti na usjev kukuruza (u pozadini se vide biljke normalne visine koje su imale prednost povišenog terena; ostatak polja koji je bio pod vodom nije se uspio oporaviti pa su biljke na tome dijelu ostale niže i svjetlije, što se drastično odrazilo na prinos zrna).



Slika 25. Štete na kukuruza nakon vrtložnog olujnog vjetrova praćenog ledom (nakon početne procjene o potpunim štetama, veći dio kukuruza na ovome polju uspio je dati gotovo normalan prinos, što svjedoči o visokoj tolerantnosti kukuruza na nepovoljne vanjske uvjete).

Toplina – iako se kukuruz odavno prilagodio klimatskim uvjetima umjerenih područja, podrijetlom je iz tropskih krajeva i za svoj razvoj treba dosta topline. Optimalna temperatura za proizvodnju kukuruza je oko 25 °C (nicanje počinje za 5 - 6 dana), dok ispod 10 °C gotovo potpuno prestaje s rastom. **Coffman** (1923.) je zabilježio značajno smanjivanje klijanja pri temperaturi manjoj od 10 °C. **Blacklow** (1972.) navodi kako je u klijanju i nicanju izduživanje klicinog korjenčića i klicinih listova najjače oko temperature od 30 °C, a prestaje na temperaturama od 9, odnosno 40 °C. Točka rasta kod kukuruza do faze šest listova (V6) još uvijek je ispod zemlje (**Ritchie i sur.** 1986.) pa je oporavak

biljaka potpun ukoliko je usjev izložen umjerenim mrazovima. Trajanje vegetacije kukuruza ovisi o tome koliko će toplinskih jedinica biljka nakupiti u jednoj sezoni. Postoji nekoliko sustava po kojima se izračunava nakupljanje toplinskih jedinica kod kukuruza, a jedan od najpoznatijih je koncept GDU (*growing-degree unit*).

$$GDU = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - 10^{\circ}C$$

Potencijalne opasnosti vezane uz osjetljivost na hladnoću su kasni proljetni i rani jesenski mrazovi. S druge strane, pretoplo vrijeme u određenim fazama može uzrokovati teškoće u rastu i razvoju biljke, a to se pogotovo odnosi na razdoblje polinacije i oplodnje (temperature više od 35 °C kroz duži vremenski period mogu značajno smanjiti uspješnost oplodnje). Isto tako, vruća ljeta i tople jeseni mogu skratiti vegetaciju kukuruza – biljka prebrzo nakuplja toplinske jedinice i sazrije dajući manji klip, a time i manji prinos po jedinici površine. Utjecaj topline na rast i razvoj kukuruza može se vidjeti korištenjem istih hibrida u različitim geografskim regijama. Primjerice raniji hibridi skupine FAO 200 u Hrvatskoj rano završe vegetaciju i znatno su manji od kasnijih hibrida po pitanju veličine stabljike i klipa, no isti hibridi u Poljskoj su visoki, robusni i velikih klipova jer u sjevernijim regijama kukuruz na raspolaganju ima znatno manje toplinskih jedinica koje ubrzavaju, odnosno skraćuju vegetaciju.



Slika 26. *Ljubičasta boja biljaka u ranim razvojnim fazama ukazuje na nedostatak fosfora (hladno vrijeme u proljeće usporava rast biljke i utječe na usvajanje fosfora). U zadnjih petnaestak godina u Slavoniji i Baranji povećala se učestalost pojave hladnih proljetnih razdoblja, što proljetnim kulturama otežava rast i razvoj.*

Svjetlost – kukuruz je C4 biljka i pripada *heliofitima*, odnosno biljkama kojima je potrebno puno svjetlosti (zasićenje pri 5000 luksa ili više), dok prema fotoperiodizmu pripada biljkama kratkog dana (eng. *short-day plants*). Kako bi usjev dobio dovoljnu količinu svjetlosti treba izbjegavati preguste sklopove koji uzrokuju zasjenjivanje, posebno donjih listova. Isto tako, uništavanje korova i stvaranje hibrida s uspravnim (lat. *erectum*) listovima doprinose boljem iskorištavanju svjetla od strane biljaka.



Slika 27. Tip kukuruza s užim, uspravnijim listovima može tolerirati gušće sklopove uz normalno iskorištavanje svjetla potrebnog za fotosintezu i proizvodnju organske tvari (inbred linija Os 438-95).

Tlo – dinamički, polifazni sustav koji se sastoji od krute, tekuće, plinovite i žive faze. Usvajanje hraniva iz tla zahtijeva usklađenost ovih faza; teksturna svojstva kao što su poroznost, sposobnost upijanja i provođenja vode, pokretljivost hraniva, kationski izmjenjivački kapacitet, puferna sposobnost adsorpcijskog kompleksa tla, sadržaj organske tvari i način usvajanja hraniva neki su od mnogobrojnih čimbenika o kojima ovisi hoće li biljka biti u mogućnosti usvajati hraniva tijekom vegetacije (**Vukadinović i Lončarić** 1998.).

Iako se uzgaja na cijelom spektru različitih tala, kao i svaka druga kultivirana biljka kukuruz dobre prinose ostvaruje na tlima dobre strukture i teksture, povoljnog vodno-zračnog režima, koja imaju dovoljno organske tvari u svome sastavu, a mogu se lagano obrađivati. Problemi pri uzgoju javljaju se na tlima loše propusnosti (teška, zbijena tla s lošijim vodno-zračnim režimom), na tlima kojima pH reakcija previše odstupa od neutralne, kao i na slanim tlima. Isto tako, lagana, pjeskovita tla imaju manje organske tvari te se na njima može javiti povećano ispiranje hraniva.

Hraniva – za uspješan rast i razvoj kukuruz zahtijeva određenu količinu hraniva u vidu makro- (tzv. *velika trojka* dušik, fosfor i kalij ili NPK te kalcij, magnezij i sumpor) i mikroelemenata poput željeza, cinka, bakra, bora, mangana, nikla i molibdena. **Barber i Olson** (1968.) navode količinu hraniva koju kukuruz iznese iz tla kroz zrno i ostatke kako bi postigao prinos od 9,5 t/ha u američkom Kukuruznom pojasu (Tablica 22). Koliko će hraniva biljka moći akumulirati ovisi o plodnosti tla, odnosno količini hraniva koja se nalazi u tlu. Količina hraniva u tlu ovisi o sastavu tla, mobilnosti hraniva, predkultutama i gnojidbi. **Hanway** (1962.) navodi kako biljke kukuruza u prvoj polovini srpnja, kada porast lisne mase premašuje 50 %, usvajaju 31 % dušika, 23 % fosfora i 38 % kalija od ukupne količine ovih hraniva usvojenih tijekom vegetacijske sezone.

Tablica 22. Količina hraniva u zrnu i ostacima (lišće, kukuruzovina, ostatci stabljike) koju kukuruz iznese iz tla nakon berbe*

Element	Količina (kg/ha)	
	Zrno	Ostaci
N	129	62
P	31	8
K	39	157
Ca	1.5	39
Mg	11	33
S	12	9
Cl	4.5	76
Fe	0,11	2,02

* Osim navedenih elemenata autori su u manjim količinama naveli i nekoliko mikroelemenata (Mn, Cu, Zn, B i Mo).



1.5. Tehnologija proizvodnje kukuruza

Kukuruz za svoj razvoj, osim agroekoloških uvjeta, zahtijeva i pravovremenu upotrebu agrotehničkih mjera. Od izbora sjemena prije sjetve do skladištenja suhog zrna poslije berbe, poštivanje agrotehničkih mjera preduvjet je uspješne proizvodnje kukuruza.

Izbor sjemena

Proizvodnja kukuruza po najsvremenijim standardima na našim prostorima odvija se zadnjih pedesetak godina. U te standarde svakako se ubraja i izbor hibrida. Iako su hibridi u Sjedinjenim Američkim Državama na tržištu bili prisutni već tridesetih godina 20. stoljeća, u Hrvatskoj i regiji može se reći da je značajnije korištenje hibrida započelo šezdesetih godina (prvi priznati hibrid kukuruza u Hrvatskoj bio je hibrid Bc Instituta Bc 590 1962. godine, a nedugo potom, 1964. godine, priznat je i prvi hibrid Poljoprivrednog instituta Osijek). Nakon toga, korištenje hibrida u proizvodnji kukuruza sve više raste te se može reći kako je danas upotreba sorata zanemariva. Na hrvatskom tržištu trenutno se nalazi preko 300 hibrida kukuruza raznih sjemenskih kuća. Za dobar izbor hibrida prvenstveno je bitno poznavati proizvodno područje (temperature, o-borine, tlo) jer za svako područje postoje vegetacijske skupine hibrida koje se određuju ovisno o trajanju vegetacije. Spomenute toplinske jedinice (npr. GDU, CHU i druge) koje biljka nakuplja tijekom rasta i razvoja najvažniji su čimbenik u određivanju trajanja vegetacije. Hibridi kukuruza prema vegetacijskim skupinama okvirno se dijele na rane, srednje i kasne (sustav FAO skupina ima ljestvicu od FAO 100 do FAO 1200, iako se u praksi uglavnom koriste hibridi od FAO 200 do FAO 700). Rani hibridi u našim uvjetima hibridi su skupina FAO 200 i FAO 300 (središnja Hrvatska), srednje rani ili srednje kasni su iz skupina FAO 400 i FAO 500, dok su kasni hibridi iz skupina FAO 600 i FAO 700 (istočna Hrvatska). Zadnjih godina u Hrvatskoj i regiji sve je izraženiji trend korištenja hibrida ranijih FAO skupina, ne toliko zbog većeg prinosa zrna koliko zbog lakše proizvodnje (ranija berba može dovesti do izbjegavanja dodatnog sušenja u sušarama, ranijeg skladištenja, ali i bržeg oslobađanja površina za ozime usjeve). Svaki proizvođač mora dobro znati za koju namjenu želi uzgajati kukuruz (za proizvodnju zrna, klipa, silaže ili za razne kombinacije navedenog) te na osnovu toga odabrati odgovarajući hibrid.

Plodored i predkulture

Iako mnogi proizvođači još uvijek uzgajaju kukuruz u ponovljenom uzgoju, suvišno je reći kako je daleko bolja varijanta uzgoj u plodoredu, čime se smanjuje utjecaj bolesti i štetnika te bolje koristi tlo. Dobar predusjev kukuruzu mogu biti strne žitarice kao što su pšenica i ječam, jednogodišnje mahunarke kao što su soja, grašak ili grahorica te višegodišnje mahunarke kao što su lucerna i djetelina (Stjepanović 1998.; Ojiem i sur. 2014.; Uzoh i sur. 2019.). Uzgoj ratarskih usjeva u plodoredu omogućuje bolju kontrolu zdravstvenog stanja tla, obogaćuje tlo hranivima i djelomično regulira gnojidbu.



Slika 29. Strnište nakon žetve žitarica i baliranja slame; žetveni ostaci zaoravaju se u tlo i obogaćuju ga organskim i mineralnim tvarima.



Slika 30. Soja u vegetaciji; zaoravanje žetvenih ostataka zadržava određenu količinu dušika u tlu (kvržične bakterije na korijenu mahunarki fiksiraju atmosferski dušik te opskrbljuju biljku, što također smanjuje potrebu za gnojidbom).



Slika 31. Višegodišnje i jednogodišnje krmne kulture poput lucerne, djeteline, graška, grahorice i boba povoljan su predusjev zbog tzv. zelene gnojidbe (Svetislav Popović). Zelena gnojidba donosi višestruke pozitivne učinke u sustav proizvodnje usjeva.

Obrada tla

Postoje dvije glavne faze u standardnoj obradi tla za kukuruz. Prva je duboko jesensko oranje, čemu može prethoditi tzv. prašenje strništa ili plitko ljetno oranje ukoliko je predkultura strna žitarica. Nakon toga slijedi proljetna pred-sjetvena priprema tla. Duboko jesensko oranje izvodi se plugom na 25 - 30 cm (tzv. otvaranje brazde), nakon čega se u tlu bolje skuplja vlaga, a tlo izmrzava preko zime što mu daje bolju strukturu i olakšava daljnju obradu (**Čihacek i sur.** 1974.). U proljetnoj pripremi tla prvo se drljačom zatvara brazda kako bi se nakupljena vlaga očuvala u tlu i omogućila rast i razvoj usjeva. Slijedi pred-sjetvena priprema (drljača + šuplji valjak = sjetvospremač) sjetvenog sloja čime se osigurava kvalitetna sjetva. U Hrvatskoj postoji sada već legendarna i svakodnevno spominjana izreka kako je za sjetvu nužna *tvrda posteljica i meki pokrivač*. Na kvalitetnim tlima lakše strukture s dobrim vodno-zračnim režimom moguće su i varijante reducirane obrade tla kako bi se izbjeglo zbijanje tla mnogobrojnim prohodima strojeva. Trend reducirane obrade tla započeo je primjerice sredinom 1970-ih u SAD-u, što je bilo omogućeno između ostalog i naprednijim metodama za suzbijanje korova (**Olson i Sander** 1988.). U ranijem dijelu vegetacije kukuruza provodi se i međuredna kultivacija zbog uništavanja korova i prorahljivanja tla.



Slika 32. Predsjetvena priprema tla rotacijskom drljačom (tzv. mikser) i zvjezdastim valjkom (Altinova, Turska).

Gnojdba

Intenzivna poljoprivreda danas se ne može zamisliti bez primjene mineralnih gnojiva. Iako se o primjeni organskih gnojiva u nekoj varijanti održive poljoprivrede (eng. *sustainable agriculture*) sve više govori, nema puno proizvođača koji potrebu za hranivima svojih usjeva podmiruju samo organskim gnojivima. Gnojdba kukuruza mineralnim gnojivima u našim se uvjetima provodi u tri navrata: osnovna gnojdba obavlja se pri jesenskoj obradi tla u kojoj se dodaje 1/3 dušika (N), 2/3 fosfora (P) i 2/3 kalija (K), zatim gnojdba prilikom predstjetvene pripreme tla u proljeće u kojoj se dodaje 1/3 N, 1/3 P i 1/3 K te prihrana nakon nicanja u kojoj se dodaje preostala 1/3 dušika (KAN, urea). Svaka gnojdba ovisi o plodnosti tla pa tako postoje i različite varijante gnojidbe. Ako je riječ o najkvalitetnijim tlima, obroci gnojidbe su manji, a ako se radi o lakšim tlima (npr. pjeskovita tla) iz kojih se lakše ispiru hraniva, onda gnojidbu treba pojačati, pogotovo dušikom. U svakom slučaju preporučuje se svake godine ili barem s vremena na vrijeme napraviti analizu tla, to je najsigurniji način praćenja stanja tla kako bi se reagiralo pravovremeno i na odgovarajući način (izračun gnojidbe kako bi se dobila točna količina gnojiva te pravilan odnos hranjivih elemenata u gnojivu).



Slike 33 - 34. Rubna kloroza (gornja slika) upućuje na nedostatak kalija, a žutilo lisne plojke na nedostatak dušika (klorozu i nekrozu vrha i rubova lista mogu uzrokovati i kemijska sredstva). Nedostatak kalija može uzrokovati i sušenje listova (poznata inbred linija iz Minnesota A676, donja slika). Od tri glavna hranjiva elementa dušik se usvaja u nitratnom (NO_3^-) i amonijskom (NH_4^+) obliku, fosfor u hidrogen-fosfatnom (HPO_4^{2-}) i dihidrogen-fosfatnom (H_2PO_4^-) obliku, a kalij kao K^+ ion. Prema **Epsteinu** (1972.) u suhoj tvari kukuruza nalazi se 1,46 % dušika, 0,20 % fosfora i 0,92 % kalija, dok se primjere u suhoj tvari čovjeka nalazi 9,33 % dušika, 3,11 % fosfora i 1,09 % kalija.

Sjetva

Kod sjetve kukuruza najvažniji je datum, odnosno rok sjetve. Smatra se da su uvjeti za sjetvu povoljni kada tlo dosegne temperaturu 8 - 10 °C, što se u proizvodnim uvjetima Hrvatske podudara s razdobljem od početka travnja do početka svibnja. Osim roka, jedan od najvažnijih čimbenika je i dubina sjetve, koja iznosi 5 - 7 cm, ovisno o tipu i stanju tla, odnosno dostupnoj vlazi u tlu. Ako tlo sadrži dovoljno vlage može se sijati pliće, a u sušnijim uvjetima sjetva se može obaviti na veću dubinu. Pri sjetvi donji dio sjetvene površine (*posteljica*) treba biti nešto tvrđi i vlažan, kako bi zrno što prije dobilo potrebnu vodu za bubrenje, dok gornji dio kojim se zrno zagrće (*pokrivač*) treba biti mek i rastresit, kako bi mlada biljka što lakše nikla. Preduboka sjetva nije pogodna jer uzrokuje poteškoće u nicanju.

U Slavoniji i Baranji optimalnim rokom sjetve za kukuruz tradicionalno se smatrao period od 10. travnja do početka svibnja. Međutim, u zadnjih desetak godina primjetan je trend ranije sjetve kako bi kukuruz ranije ušao u fazu oplodnje i na taj način izbjegao najviše temperature i sušu. Visoke temperature utječu na oplodnju kukuruza (manja dostupnost peluda i manja receptivnost svile), što u težim slučajevima dosta smanjuje prinos. Nakupljanje stresnih toplinskih jedinica (*Stress Degree Days – SDD*) tijekom vegetacije kukuruza na istoku (Osijek), ali i na zapadu Hrvatske (Zagreb) u posljednjih pet dekada postaje sve izraženije (**Buhiniček i sur.** 2021.). S druge strane, prerana sjetva ostavlja rizik proljetnih mrazeva koji mogu oštetiti mladi usjev. Kasnija sjetva može biti razlog kasnog ili nepotpunog dozrijevanja hibrida (povišena vlaga u berbi, osjetljivost na bolesti, gubitak prinosa).



Slika 35. Sjetva inbred linija za sjemensku proizvodnju standardnim sijačicama sa šest (sijačica u prvom planu), odnosno četiri (sijačica u pozadini) sijača tijela, Dikili, Turska (Ersan Atakul).

Kod sjetve kukuruza treba paziti i na sklop (eng. *plant density*) jer svaka biljka kukuruza za svoj rast i razvoj zahtijeva određeni vegetacijski prostor. Gustoća sklopa ovisi o namjeni i duljini vegetacije hibrida. Raniji su hibridi niži, manje lisne mase pa je kompeticija među biljkama na polju smanjena, dakle mogu se sijati na gušći sklop (17 - 18 cm razmaka između biljaka u redu, što čini sklop od 79 000 do 84 000 biljaka po hektaru). Kasniji su hibridi viši, robusniji, s većom nadzemnom masom i siju se u rjeđim sklopovima (21 - 23 cm razmaka između biljaka u redu, što čini sklop od 62 000 do 68 000 biljaka po hektaru). **Cardwell** (1982.) navodi kako je u Minnesoti tijekom razdoblja od 50 godina povećanje sklopa od oko 30 000 biljaka/ha na oko 50 000 biljaka/ha dovelo do porasta prosječnog prinosa za 21 %, dok **Shaw i Durost** (1965.) navode povećanje prinosa od 16 % u Iowi u razdoblju od preko 30 godina.

Klimatske promjene uzrokuju temperaturne varijacije koje sve više otežavaju poljoprivrednu proizvodnju. Primjerice hladna proljeća, sušne godine, velike varijacije dnevnih u odnosu na noćne temperature i slične pojave u zadnje vrijeme više nisu rijetkost te je postalo znatno teže odrediti tzv. tipičnu ili prosječnu godinu za kukuruz. Konkretni problem u razdoblju sjetve je što postaje sve teže odrediti optimalan rok sjetve kako bi se usjev normalno razvijao i koliko god je moguće više izbjegao nepovoljna razdoblja visokih temperatura i pomanjkanja vode. Neki od načina rješavanja ovih problema su spomenuta ranija sjetva, korištenje hibrida kraće vegetacije, obvezno navodnjavanje u kritičnim razdobljima i drugo.



Slika 36. Sjetva ručnim sijačicama ili planterima (Altınova, Turska). Iako je ova sjetva daleko manje učinkovita od strojne sjetve, u mnogim krajevima svijeta specijalizirana polja kao što su selekcijska ili manja pokusna polja manje pristupačna strojevima još uvijek se učinkovito siju ručnim sijačicama.

Njega

Nakon što usjev nikne potrebno ga je u vegetaciji dobro održavati kako bi prinos zadržao očekivanu proizvodnu razinu. Jedna od najvažnijih mjera njege je **zaštita od korova**. Korovom se smatra svaka biljka koja nije ciljani usjev u planiranoj proizvodnji (primjerice samonikli suncokret na polju pšenice je korov). Na poljima zasijanim kukuruzom korovi se javljaju već i prije nicanja, a najkritičnije je razdoblje dok su biljke kukuruza još mlade. Pri intenzivnijoj zakorovljenosti može se dogoditi da znatan dio biljaka uopće ne naraste do svoje pune visine (ili uopće). Dakle, korovi su otporne, žilave biljke koje se s kukuruzom natječu za vegetacijski prostor, vodu i hraniva.



Slike 37 - 39. Neki od najčešćih korova na kukuruznim poljima (lijevo gore ambrozija, lijevo dolje loboda, desno osjak).

Neki od najvažnijih korova u kukuruzu u našim krajevima su sirak (*Sorghum halepense*), ambrozija (*Ambrosia artemisiifolia* L.), mračnjak (*Abutilon theophrasti* Med.), osjak (*Cirsium* sp.), šćir (*Amaranthus* sp.), loboda (*Chenopodium* sp.), čičak (*Arctium lappa* L.), slak (*Convolvulus arvensis* L.), kužnjak (*Datura stramonium* L.), dvornik (*Polygonum* sp.), ladolež (*Calystegia sepium* L.), dikica (*Xanthium* sp.) i druge biljke. Osim neizravnih standardnih mjera poput plodoreda i obrade tla, najučinkovitiji način borbe protiv korova je okopavanje pojedinih biljaka, no to na većim površinama nije opravdano pa se vrši

međuredna kultivacija (jednom ili dva puta, u fazi 3 - 5 te 7 - 9 listova) i tretiranje herbicidima. Herbicidi se mogu primijeniti na tri glavna načina, a to je: 1) prije sjetve (zemljišni herbicidi); 2) nakon sjetve, a prije nicanja i 3) nakon nicanja.



Slike 40 - 42. *Sirak (gore lijevo) često ostaje u polju i u kasnijim vegetacijskim razdobljima te može prouzročiti znatno smanjenje prinosa, kako silažnog kukuruza (62 %) tako i kukuruza proizvedenog za zrno (41 %) (Vasilakoglou i sur. 2005.). Dosta česti korovi pri proizvodnji kukuruza u našim uvjetima također su mračnjak (gore) te dikica koja u povoljnim uvjetima formira velike grmove.*

Na kukuruzu se može naći i velik broj **štetnika**. Neki od najčešćih su žičnjaci (*Elateridae*), opasni polifagni štetnici; kukuruzni moljac (*Ostrinia nubilalis* Hübner), koji je najopasniji štetnik kukuruza u Hrvatskoj; kukuruzna zlatica (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte), kukuruzna sovica (*Helicoverpa* sp.), ozima sovica (*Agrotis segetum* Denis & Schiffermüller), kukuruzna pipa (*Tanymericus dilaticolis* Gyll.), lisne uši (*Aphidae*) i drugi stalni ili povremeni štetnici iz razreda kukaca. Na kukuruzu štete prave i ostale životinje poput miševa, štakora, voluharica, hrčaka, zečeva, divljih svinja, jelena, srna pa čak i dabrova, a značajne štete mogu napraviti i ptice. Primjerice vrane ili fazani

štete prave već nakon sjetve, ali i u vegetaciji. Najbolja **zaštita od štetnika** je korištenje plodoreda, dobra obrada tla, uništavanje korova i kemijsko tretiranje insekticidima. Sjeme hibrida kukuruza obvezno se tretira insekticidima, a prema potrebi koriste se zemljišni insekticidi protiv zemljišnih štetnika kao što su žičnjaci. Isto tako, ukoliko je potrebno usjev se može tretirati protiv štetnika i u vegetaciji.



Slika 43. Kombinirani napad štetnika i bolesti – ličinke kukuruznog moljca (vidljive na vrhu klipa) izbušile su mnogobrojne rupe na klip u hraneći se, a te ozljede predstavljaju najpogodnije mjesto za ulaz drugih patogena, u ovom slučaju gljivica iz roda *Fusarium*.



Slika 44. Štete na korijenu nakon hranjenja ličinki kukuruzne zlatice.

Kao i na ostalim kulturnim biljkama, na kukuruзу se tijekom vegetacije mogu naći razne **bolesti** uzrokovane fitopatogenim gljivama. Najčešće bolesti kod kukuruza u našim uvjetima su trulež stabljike i klipa (*Fusarium sp.*) mjehurasta snijet (*Ustilago maydis* Cor.) na stabljici, klip u metlici te siva pjegavost lista (*Helminthosporium turcicum* Pass.). Uzročnici bolesti u svome razvoju sintetiziraju sekundarne produkte metabolizma – mikotoksine (eng. *mycotoxins*) – koji mogu značajno smanjiti kvalitetu proizvedene hrane, kako životinjske tako i namirnice u ljudskoj prehrani poput mlijeka, žitarica ili voća. Neki od najčešćih mikotoksina su aflatoksini, fumonizini, zearalenon, deoksinivalenol i drugi. **Zaštita od bolesti** počinje već u selekcijskim programima gdje se sva osjetljiva germplazma odbacuje, a nastavlja se isto tako plodoredom, dok se kemijsko tretiranje u našim uvjetima ne provodi.



Slika 45. Kukuruzna zlatica na klipu kukuruza; odrasli kukci hrane se listovima, peludom i svi-lom, za razliku od ličinki koje se hrane korije-nom i koje zapravo nanose najozbiljnije štete. U Sjedinjenim Američkim Državama poznata je pod nadimkom billion dollar bug, zbog troš-kova suzbijanja koji već odavno prelaze mili-jardu dolara godišnje (**Metcalf** 1986.).



Slika 46. Ličinke kukuruznog moljca u potpuno uništenoj stabljici.



Slike 47 - 48. Mjehurasta snijet na kukuruzu, može se javiti na stabljici, klipu i metlici. Inače, vrlo je cijenjena poslastica u meksičkoj kuhinji.



Osim stalnih štetnika, na kukuruзу se može naći niz drugih vrsta, ponajviše kukaca, kojima je polje kukuruza stalno stanište. Neki su od lakše zamjetljivih veliki kukci poput bogomoljke, zelenog konjica, vretenca, raznih skakavaca, leptira ili zlatne mare pa sve do pčela koje također nije rijetkost vidjeti na metlici. Na kukuruзу ima i dosta korisnih kukaca poput bubamara (*Coccinellidae*), zlatooka (*Chrysopidae*), trčaka (*Carabidae*), korisnih stjenica i drugih koji manje ili više reguliraju brojnost štetnika. Kako se kukuruz sije svake godine iznova, svako polje kukuruza jedinstvena je biocenoza u koju je kroz mnogobrojne međusobne interakcije uključen veliki broj biljaka i životinja.



Slike 49 - 52. Vretence (lijevo gore), zeleni konjic (lijevo sredina), lastin rep (lijevo dolje) i bogomoljka (gore). Bogomoljke su aktivni predatori i među najvećim su kukcima u Hrvatskoj, a svoj plijen često traže i u poljima kukuruza.



Slike 53 - 56. Pčela skuplja cvjetni prah s metlice kukuruza (gore lijevo); zlatooka na listu (gore desno); bubamara (lijevo dolje); parenje vretenaca na mladom izdanku odrezane stabljike kukuruza. Ličinke zlatooke aktivni su predatori, a hrane se lisnim ušima i drugim sitnim kukcima; bubamare su predatori lisnih ušiju i mnogih drugih kukaca (ličinka bubamare dnevno može pojesti i preko 30 lisnih ušiju).

Od ostalih mjera njege treba još istaknuti **navodnjavanje**, što se u našim uvjetima uglavnom ne prakticira zbog relativno dobre dostupnosti vode u kritičnim razdobljima. Danas se u Hrvatskoj redovno navodnjavaju tek manje površine ili neke specifične, važnije površine poput sjemenske proizvodnje. Ipak, zadnjih 10 - 15 godina primjetna je pojava sve češćih sušnih godina, odnosno nedostatka vode u kritičnim razdobljima razvoja biljke pa se i navodnjavanje sve više razmatra kao redovnija mjera nego što je to bilo do sada. U mnogim regijama svijeta navodnjavanje je obavezna mjera bez koje proizvodnja ne bi bila moguća (npr. Turska, Irak, Čile i mnoge druge zemlje).



Slika 57. Navodnjavanje u kanale (Buin, Čile); Čile nije veliki proizvođač kukuruza, ali proizvodni uvjeti su zapravo vrlo povoljni – uz navodnjavanje i obilje toplinskih jedinica te sušniju klimu koja uvjetuje manji broj bolesti i štetnika, kukuruz se bez većih problema uzgaja u ponovljenom uzgoju pa i monokulturi.



Slika 58. Glavni kanal za navodnjavanje (Adana, Turska); u Mediteranskoj regiji Turske sva poljoprivredna područja odlično su opskrbljena vodom koja se transportira gustom mrežom kanala koji se često pretvaraju u male potoke i rječice u kojima stalno ima vode pa i ribe, rakova i drugih životinja ukoliko je kanal stalno povezan s rijekom.

Berba

Svaka sezona u proizvodnji kukuruza kulminira berbom (mnogi koriste i pojam *žetva* jer se ubrani kukuruz runi, odnosno žanje odmah u kombajnu). U ranijim vremenima kukuruz se brao, komušao i runio ručno, a era mehaniziranosti berbe počela je u 19. stoljeću i nastavila se 1940-ih godina u Sjedinjenim Američkim Državama (prvi samohodni berač kukuruza 1946. godine; adaptacija žitnog kombajna za berbu i runjenje kukuruza 1954. godine) (**Čuljat i Barčić** 1997.). Danas se još uvijek u mnogim krajevima svijeta kukuruz bere ručno, ali u svim državama koje ga ozbiljno (odnosno u većim količinama) proizvode berba je u najvećoj mjeri mehanizirana.

Iznimno je važno odrediti optimalan rok berbe. Glavni čimbenik koji utječe na kvalitetu berbe je **vlaga zrna**. Ovisno o namjeni, vrijeme berbe je stanje kada usjev ima oko 25 - 28 % vlage u zrnu (za zrno), do 30 % (za klip) te do 65 % vlage cijele biljke za silažu. U proizvodnim uvjetima Slavonije i Baranje berba može početi početkom rujna i trajati do polovine studenog. Što duže usjev u jesen ostaje u polju, veća je opasnost od smrzavanja (pucanje zrna) te posljedično veća učestalost bolesti. Kukuruz u klipu bere se beračima ili beračima-komušaćima, a u zrnu kombajnom. Nakon berbe kukuruz se po potrebi suši do skladišne vlage od 14 % i potom skladišti. Klip se čuva u posebnim koševima (*čardacima*), a zrno u raznim skladištima i silosima. Kao i kod same berbe, pri skladištenju zrna kukuruza vlaga zrna igra veliku ulogu. Kako u današnje vrijeme proizvođači sve više proizvode zrno, a ne klip, u interesu im je da zrno po vlazi bude što bliže skladišnoj vlazi. Što je zrno vlažnije veći je trošak sušenja i manja isplativost proizvodnje.



Slike 59 - 60. Žetva četverorednim kombajnom (lijevo); ubrani i okomušani klipovi (desno).



Slika 61. Žetva četverorednim kombajnom, pražnjenje koša u prikolicu.

Slična tehnologija proizvodnje potrebna je i u **oplemenjivanju kukuruza** (sjetva, njega, berba), no treba obratiti pozornost na neke specifične aktivnosti: postavljanje pokusa, detaljnija priprema sjetve, raspored sjetve i organizacija selekcijskih polja (samooplodnja, križanja, umnoženja i drugo), višestruki pregledi pokusnih i selekcijskih polja u vegetaciji, prije, ali i poslije berbe u svrhu odabira germplazme u oplemenjivačkom procesu, po potrebi ručna berba i drugo. U slučaju selekcijskih polja (eng. *breeding nursery*) svakako se obavlja ručna berba jer su klipovi pod izolacijskim vrećicama (Slika 106) i treba ubrati svaki posebno, dok se pokusna polja beru kombajnom posebno prilagođenim za berbu pokusa (ima ugrađen sustav koji pomoću senzora mjeri odvagu i vlagu svake parcele te prosljeđuje podatke u pokretno računalo u kombajnu).



Slike 62 - 63. Ručna berba selekcijskog polja na oplemenjivačkom programu.

Sjemenski kukuruz

Proizvodnja sjemenskog kukuruza provodi se na sličan način kao i proizvodnja merkantilnog kukuruza, također uz nužne specifične aktivnosti kao što su određivanje i provođenje prostorne i vremenske izolacije usjeva, sjetva majčinskih i očinskih komponenata hibrida u određenom omjeru i po potrebi u različitim rokovima, uklanjanje atipičnih biljaka i zakidanje metlica na biljkama majkama. Nakon berbe sjeme se transportira na doradu, gdje se pročišćava, selektira po krupnoći (kalibracija), tretira, pakira i priprema za plasman na tržište. Planiranje i provedba sjemenske proizvodnje kukuruza zahtijeva dobru koordinaciju aktivnosti i suradnju između oplemenjivača, sjemenara, zaštitara i proizvođača.



Slike 64 - 65. Sjemenska proizvodnja hibrida kukuruza u fazi 6 - 8 listova (lijevo) te prije metličanja (dolje) (Hrvoje Plavšić). Jedna od najvažnijih i najdelikatnijih aktivnosti u proizvodnji sjemena kukuruza je uklanjanje metlica na majčinskim biljkama (iako se taj proces obavlja strojno, zbog neujednačenog porasta biljaka vrlo je važno da se proizvodno polje prekontrolira i ručno, što zahtijeva puno sezonske radne snage u srpnju). Prinos majčinskih linija kukuruza u sjemenskoj proizvodnji u našim uvjetima iznosi dvije do tri tone po hektaru, dok se u nekim zemljama s više kontroliranim okolinama poput Turske može ostvariti prinos i od preko pet tona po hektaru.

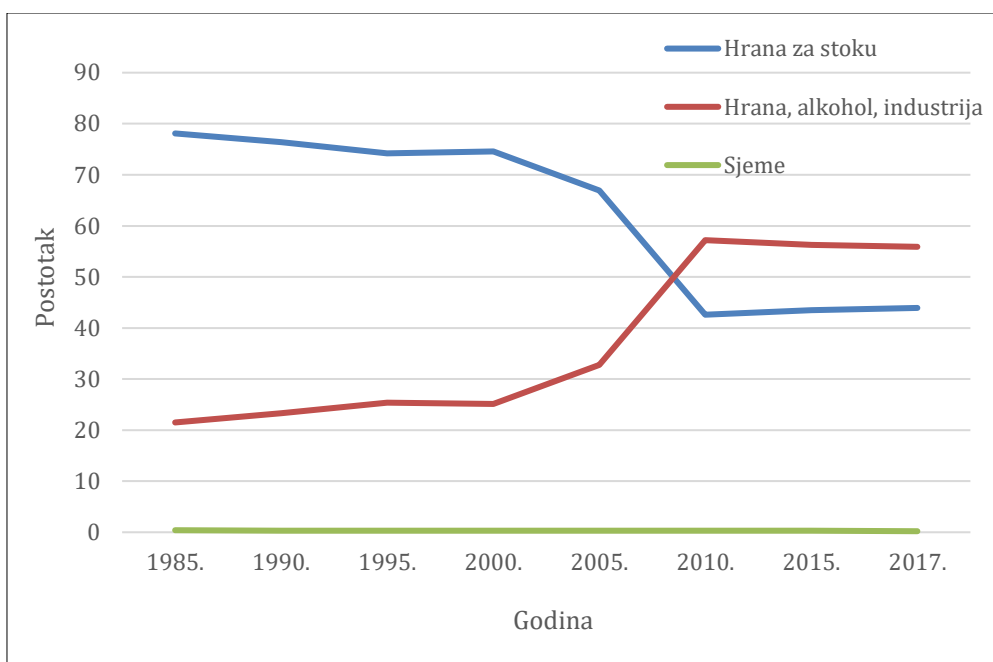
1.6. Upotreba kukuruza

Upotreba ili namjena kukuruza važan je aspekt proizvodnje ovoga važnog usjeva. Gotovo od svoga nastanka kukuruz je u ljudskom društvu imao vrlo široku primjenu. U svojoj domovini, ali i šire, u cijeloj Americi, dugo vremena najznačajnija namjena bila je ljudska prehrana, dok u današnje vrijeme dobar dio proizvedenog kukuruza služi kao hrana domaćim životinjama te za industrijsku preradu. Trendovi namjene kukuruza variraju ovisno o regiji proizvodnje. Najrazvijenije države predvodnici su tih trendova dok ih ostale zemlje više ili manje prate. Proizvodnja kukuruza dakle ovisi o namjeni koja obuhvaća cijeli spektar različitih načina korištenja.

Kukuruz se uglavnom koristi kao hrana za životinje (hranidba, eng. *feed*) i ljude (prehrana, eng. *food*) te kao sirovina za industriju, građevinski materijal, ogrjev (stabljika, komušina, oklasak), ali i kao ljekovita i ukrasna biljka. Zrno je svakako najvažniji dio glede upotrebe kukuruza – u razdoblju od 2017. do 2021. godine proizvedeno je više od 1,15 milijardi tona zrna, od čega je udio kukuruza uzgajanog za zelenu masu iznosio je tek nešto manje od 10,5 milijuna tona (Tablica 7; **FAOSTAT** 2023.), što je prilično mala količina. Ipak, kada se spominje proizvodnja *zelenog* kukuruza zasigurno i jedan dio kukuruza uzgajanog za zrno otpada na silažu i druge namjene zelene mase pa je točan podatak o omjeru proizvodnje za zrno, silažu i druge namjene zelene mase prilično teško precizno odrediti.

U Sjedinjenim Američkim Državama 2017. godine 43,9 % proizvedenog kukuruza koristilo se kao stočna hrana, 56 % za ljudsku prehranu, etanol i industrijsku upotrebu, a tek 0,2 % ukupne proizvodnje otpadalo je na proizvodnju sjemena (**USDA ERS** 2017.). Dvije godine kasnije, 42,7 % kukuruza u SAD proizvelo se za stočnu hranu (od čega su 7,8 % nusproizvodi kod proizvodnje etanola, tzv. DDG (eng. *distillers dried grains*), 34,7 % za gorivo/etanol, 13,4 % za izvoz, 9,0 % za dobivanje sirupa, zaslađivača, škroba, napitaka i drugih proizvoda te 1,1 % za sjemensku proizvodnju (**USDA ERS** 2020.). Prema višegodišnjem prosjeku (od 2009. do 2017. godine) 56,4 % proizvedenog kukuruza u Sjedinjenim Američkim Državama otpada na hranu, alkohol i industrijsku preradu, 0,3 % na sjemenski kukuruz i 43,4 % na stočnu hranu i ostatke (eng. *residual use*), (**USDA ERS** 2017.) (Grafikon 3).

Procjena ukupne vrijednosti proizvodnje kukuruza (eng. *crop value*) u SAD-u 2008. godine iznosila je 49,09, a 2018. godine 51,91 milijarda američkih dolara (USD). Za usporedbu, isti pokazatelj 1938. godine iznosio je 1,08 milijarda USD, 1978. godine 16,35 milijarda USD, a 1998. godine 18,93 milijarda USD (USDA WASDE 2019.). Prema FAOSTAT (2023.) procijenjena vrijednost proizvodnje (eng. *gross production value*) kukuruza u svijetu 2018. godine iznosila je oko 244 milijarde američkih dolara, dok je u SAD-u ta vrijednost 2019. godine iznosila oko 52 milijarde. U Iowi se, kao jednoj od glavnih država američkog Kukuruznog pojasa, u 2015. i 2016. godini 41 % kukuruza proizvelo za proizvodnju etanola/goriva, 26 % za proizvodnju stočne hrane, 11 % za ljudsku ishranu, 15 % za izvoz i 7 % za ostale namjene (ICGA 2018.).



Grafikon 3. Namjena kukuruza u Sjedinjenim Američkim Državama od 1985. do 2017. godine (izraženo u postotcima).

Izravno za hranidbu stoke (proizvodnja zrna i silaže) uglavnom se uzgaja kukuruz u tipu zubana, a za prehranu ljudi šećerac, kokičar, tvrđunac, ali i zubane i ostale tipove. U prehrambenoj se industriji od kukuruza pravi kukuruzno brašno, kruh, palenta, razne vrste pahuljica (eng. *corn flakes*) i pekarskih proizvoda, čips, tortilje, ulje, sirupi, zaslađivači, preljevi, alkohol, napici, sladoled, žvakaće gume i mnogi drugi proizvodi. Osim toga, kukuruz je važna sirovina

za druge industrije osim prehrambene. Od kukuruza se proizvode različiti kemijski, farmaceutski i drugi proizvodi kao što su papir, ambalaža, karton, boje, sapuni, insekticidi, razna sredstva, antibiotici, dezinficijensi, tekstil, plastika, keramika, čaše, gorivo, pa čak i eksploziv ili automobilske gume. Primjerice, jedan tip kukuruza posebno se proizvodi za izradu lula (eng. *pipe corn*). Procjenjuje se da se danas od kukuruza proizvodi od nekoliko stotina do nekoliko tisuća različitih proizvoda (Huma i sur. 2019.). Prema Nacionalnoj američkoj udruzi proizvođača (*National Corn Growers Association*) od jednog bušela kukuruza (oko 25 kg) može se dobiti oko 14 kg škroba ili oko 10 kg vlakana/polimera ili oko 15 kg zaslađivača ili oko 11 l goriva/etanola (+ oko 0,7 l ulja) (NCGA 2020.).



Slika 66. Čaša napravljena od kukuruza, Sveučilište u Californiji, Davis, SAD.

Kukuruz se koristi i kao ukrasna biljka. **Kukuruzna palača** (eng. *Corn Palace*) u Južnoj Dakoti (Mitchell) izgrađena 1892. godine popularna je turistička destinacija koju posjeti do pola milijuna turista svake godine. Služi za održavanje raznih društvenih manifestacija, a slavna je po svojim ogromnim muralima od kukuruza kojima je obložena i koji se svake godine obnavljaju. Isto tako, postoji niz raznih tipova ukrasnog kukuruza (*Glass Gem, Strawberry Popcorn, Blue Jade, Aztec Black, Oaxacan Green, Bloody Butcher, Atomic Orange, Country Gentleman, Dakota Ivory, Hopi Pink, Montana Cudu, Maiz Morado, Mandan Bride, Golden Bantam, Hickory King, Orchard Baby, Painted Hill, Yukon Chief, Cherokee White* i mnogi drugi). Od svih dijelova biljke

kukuruza za ukras se najviše koristi klip kao takav, odnosno atraktivna raznobojna zrna od kojih se mogu izrađivati i/ili ukrašavati razni predmeti, suvenir i slično.

Iako je namjena kukuruza raznolika koliko i sama kultura sa svojim mnoštvom tipova, veličina tržišta za određenu namjenu u svijetu se dosta razlikuje. Primjerice, tržište za ukrasni kukuruz pa i za kukuruz mnogih drugih namjena koje nisu previše raširene poput kukuruza za izradu lula malo je ili nepostojeće, ovisno o geografskoj regiji. U Hrvatskoj i regiji, jedna od najčešćih podjela je podjela na standardni kukuruz (eng. *field corn*), što je velikom većinom tip zubana te kukuruz za posebne namjene (eng. *specialty corn*), kamo svrstavamo tvrdunac, kokičar, šećerac i druge tipove. Međutim, upotreba kukuruza može se prikazati kroz više raznih podjela. Osim osnovne podjele na kukuruz za hranu i kukuruz za ostale namjene, može se napraviti i više dodatnih podjela na niz podkategorija (Tablice 23 i 24). **Dumanović i Pajić** (1998.) navode nekoliko tipova kukuruza za posebnu namjenu: amilozni, voštani, visokolizinski, visokouljani, šećerac, kokičar, bijeli. **Brown i sur.** (1986.) dijele kukuruz na šest glavnih tipova (zuban, tvrdunac, brašnavi, šećerac, kokičar, pljevičar), a pod kukuruz za posebne namjene svrstavaju voštani, visokoamilozni, visokolizinski te ukrasni.



Tablica 23. Upotreba kukuruza za prehranu ljudi i hranidbu domaćih životinja

UPOTREBA KUKURUZA			
NAMJENA	DIO BILJKE KOJI SE KORISTI	NAČIN KORIŠTENJA	TIP
HRANIDBA	životinja	zrno	zuban
		klip	
		cijela biljka	suho; cijelo, samljeveno, u smjesi suhi klip
		klip i/ili zrno	
PREHRANA	zrno (konzumacija bez prerade)	salate, variva, juhe, napitci (atole)	šećerac
		kokice	kokičar
		brašno, krupica, kruh, palenta, tortilje, kolači, puding, flekice, čips, sirupi, zaslađivači, preljevi, ulje	razni tipovi
	zrno (prehrambena industrija)	škrob, etanol	škrobni
		<i>corn nuts</i>	<i>Cuzco</i>
	klip (svježi)	kuhani kukuruz	šećerac
		pečeni kukuruz (pečenjaci)	zuban
	klip	<i>baby corn</i>	<i>Baby Corn</i> , šećerac

Tablica 24. *Upotreba kukuruza (ostale namjene osim za hranu)*

UPOTREBA KUKURUZA				
NAMJENA	DIO BILJKE KOJI SE KORISTI	NAČIN KORIŠTENJA	TIP	
OSTALO	sirovina za industriju; kemijska, farmaceutska, tekstilna, industrija alkohola, goriva i druge	svi dijelovi biljke	papir, ambalaža, karton, boje, sapun, insekticidi, tekstil, plastika, keramika, gorivo, eksploziv, gume	razni tipovi
	ukrasni kukuruz	cijela biljka	lisnati, visoki, obojani (antocijan)	razni tipovi
		klip, zmo	razne boje i veličine klipa i zrna	starih sorata
		komušina	izrada raznih ukrasa	razni tipovi
	ogrjev	oklasak	dobro osušeno	razni tipovi
	građevinski materijal	stabljika, komušina, oklasak	dobro osušeno; izgradnja nastambi, skladišta, ograda i sl.	razni tipovi
	kukuruz za lule	oklasak	posebna izrada	<i>pipe corn</i>



2. Podrijetlo i širenje kukuruza

2.1. Sistematika i nazivi

Od početka sistematizacije ili klasificiranja (eng. *taxonomy*) biljaka cvjetnjača, ali i cijeloga biljnog svijeta nastajali su i koristili se mnogobrojni različiti sustavi klasifikacije, od kojih su neki poznatiji Teofrastov (*Historia Plantarum*, 4. do 3. stoljeće pr. Kr.), Linneov sustav binarne nomenklature (*Systema Naturæ*, 18. stoljeće), De Candolleov (19. stoljeće), Cronquistov (20. stoljeće; **Cronquist** 1968.) te najnoviji APG (*Angiosperm Phylogeny Group*) sustav klasifikacije kritosjemenjača (1998. do danas), koji se zasniva uglavnom na novijim, molekularnim istraživanjima. APG sustav do sada je nadograđen od APG I do APG IV (**APG IV** 2016.), a zanimljivo je da se u njemu za sve sistematske kategorije više od reda ne koriste specifični botanički nazivi, nego posebne skupine (eng. *clade*) koje se sastoje od zajedničkog pretka i njegovog potomstva. Po najnovijoj verziji APG sustava trenutno postoji 64 reda i 416 porodica kritosjemenjača. Porodica trava sadrži preko 780 rodova i preko 12 000 vrsta, što je čini jednom od najvećih porodica u biljnom carstvu (**Christenhusz i Byng** 2016.).

Prema mnogim modernijim taksonomskim sustavima najviša sistematska kategorija je domena ili nadcarstvo (lat. *regio*; eng. *domain*), nakon koje redom idu carstvo (lat. *regnum*; eng. *kingdom*), koljeno (lat. *phylum*; eng. *phylum* ili *division*), razred (lat. *classis*; eng. *class*), red (lat. *ordo*; eng. *order*), porodica (lat. *familia*; eng. *family*), rod (lat. i eng. *genus*) i vrsta (lat. i eng. *species*), dok neke podjele uključuju i mnoge podjedinice (podcarstvo, nadkoljeno, nadodjeljak, podrazred i druge). Prema ovakvom sistematskom rangiranju kukuruz bi pripadao domeni eukariota, carstvu biljaka, koljenu kritosjemenjača, razredu jednosupnica, redu travolike, porodici trava, rodu *Zea* i vrsti *mays* (Tablica 25, **USDA NRCS** 2018.). Neke klasifikacije obuhvaćaju i dodatne kategorije poput plemena (lat. *tribus*; eng. *tribe*), što je kategorija iznad roda, ali ispod porodice. Ako se uključi i ta sistematska kategorija kukuruz pripada u pleme *Maydeae*. Općenito ga svrstavamo i u prosolike žitarice. Platforma *The Plant List* navodi 82 rezultata pretraživanja za rod *Zea*, od čega su velika većina sinonimi nekoliko glavnih vrsta (<http://www.theplantlist.org/tpl1.1/search?q=Zea>). U nastavku je navedeno nekoliko verzija klasifikacije kukuruza.

Tablica 25. Sistematska pripadnost kukuruza u biljnom carstvu*

Sistematska kategorija	Latinski	Hrvatski	Engleski
Carstvo	Plantae	Biljke	Plants
Podcarstvo	Tracheobionta	Vaskularne biljke	Vascular plants
Nadkoljeno	Spermatophyta	Sjemenjače	Seed plants
Koljeno	Magnoliophyta	Kritosjemenjače (cvjetnjače)	Flowering plants
Razred	Liliopsida	Jednosupnice	Monocotyledons
Podrazred	Commelinidae	-	Commelinids
Red	Poales, Cyperales	Travolike	-
Porodica	Poaceae, Gramineae	Trave	Grasses
Rod	<i>Zea</i>	Kukuruz i teozinta	Maize and teosinte
Vrsta	<i>Zea mays</i>	Kukuruz	Maize

* USDA National Resources Conservation Service

Od 60-ih godina prošloga stoljeća više autora pokušalo je sastaviti što potpuniju klasifikaciju kukuruza i njegovih najbližih srodnika. **Randolph** (1962.) navodi klasifikaciju po broju kromosoma kukuruza i njegovih srodnika, a skupine u koje su ove biljne vrste tada bile sortirane su sljedeće:

1. *American Maydeae* (*Zea mays* L., *Euchlaena mexicana* Schrad., *Euchlaena perennis* Hitch. te devet vrsta iz roda *Tripsacum*)
2. *Oriental Maydeae* (*Coix aquatica* Roxb., *Coix lachryma-jobi* L., *Polytoca barbata* Stapf., *Sclerachne punctata* Brown)
3. *Andropogoneae* (osam vrsta iz roda *Sorghum* te *Manisuris cylindrica* Kuntze).

Wilkes (1967.) smatra kako je vrsta *Zea mays* odvojena od svih vrsta teozinte (eng. *teosinte*). U svojoj podjeli naglasak stavlja na morfološke razlike pa primjerice razdvaja *Zea mays* i *Zea mexicana* kao posebne vrste.

Doebly i Iltis (1980.), **Iltis i Doebly** (1980.) predlažu klasifikaciju roda *Zea* koja je zapravo i danas najkompletnija i najprihvaćenija podjela. Rod *Zea* dijeli se kroz dvije sekcije:

1. sekcija *Luxuriantes* koja uključuje tri vrste teozinte iz roda *Zea*:

Zea diploperennis Iltis, Doebly & Guzmán = trajna teozinta

Zea perennis (Hitchc.) Reeves & Mangelsdorf = trajna teozinta.

Zea luxurians (Durieu & Asch.) Bird = teozinta

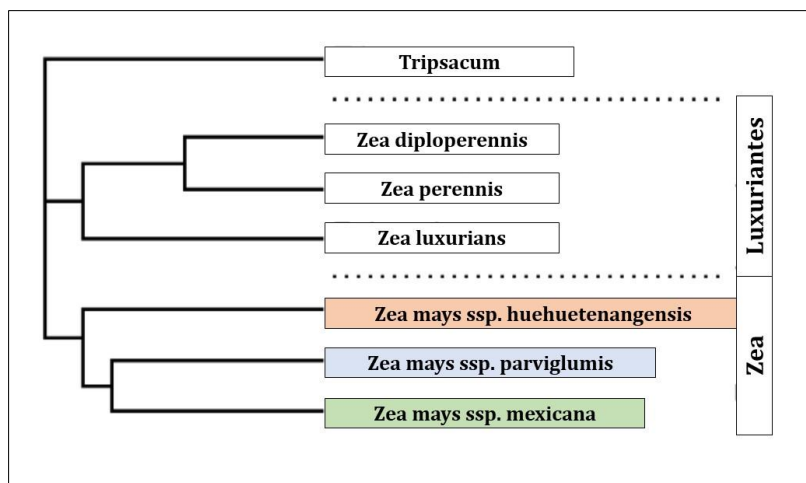
2. sekcija *Zea* koja uključuje četiri podvrste *Zea mays*, od čega su tri teozinte, a četvrta kukuruz:

Zea mays L. ssp. *huehuetenangensis* (Iltis and Doebly) Doebly

Zea mays L. ssp. *parviglumis* Iltis and Doebly

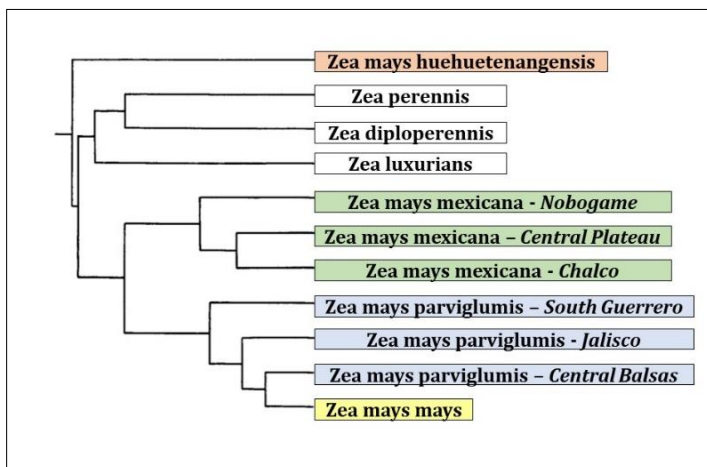
Zea mays L. ssp. *mexicana* (Schrader) Iltis

Zea mays L. ssp. *mays*



Slika 69. Pojednostavljeni dendrogram koji pokazuje genetičku povezanost teozinta i *Tripsacuma* (preuzeto iz **Hart i sur.** 2011., a prema **Doebly i Iltis** 1980.); gotovo isti dendrogram prikazali su u svome istraživanju i **Vollbrecht i Sigmon** (2005.)

Praktički istu podjelu predstavljaju **Doebly i sur.** (1984.) koji rod *Zea* dijele na četiri vrste (*perennis*, *diploperennis*, *luxurians* i *mays*), a vrstu *Zea mays* na četiri podvrste (*huehuetenangensis*, *mexicana*, *parviglumis* i *mays*) (Slika 70). Zanimljivo je vidjeti i male razlike unutar samih podvrsta pa se tako unutar podvrste *mexicana* razlikuju tri varijante: *Nobogame*, *Central Plateau* i *Chalco*, a unutar podvrste *parviglumis* također tri varijante: *Central Balsas*, *Jalisco* i *Southern Guerrero*).



Slika 70. Razlika između vrsta i podvrsta unutar roda *Zea* na temelju analize izoenzima uključuje četiri vrste teozinta. Najbliži srodnik kukuruza je teozinta podvrste parviglumis, tzv. Balsas teozinta (preuzeto iz **Doebley** 1990., a prema **Doebley i sur.** 1984.).

U svome istraživanju **Iltis i Benz** (2000.) razlikuju još jednu dodatnu vrstu iz roda *Zea* i navode je kao *Zea nicaraguensis*. Općenito pod teozintom se podrazumijeva nekoliko sličnih vrsta trava tipičnih za područje centralnog Meksika i Gvatemale. Više o teozinti kao pretku kukuruza bit će riječi kasnije u ovome poglavlju.

Buckler i Stevens (2006.) na osnovu mnogobrojnih istraživanja autora iz područja proučavanja podrijetla kukuruza predstavili su nešto drugačiju klasifikaciju roda *Zea*, odnosno podjelu na pet vrsta, od kojih se vrsta *Zea mays* dijeli na četiri podvrste:

1. *Zea diploperennis* Iltis, Doebley and Guzmán = trajna diploidna teozinta
2. *Zea perennis* (Hitchcock) Reeves & Mangelsdorf = trajna tetraploidna teozinta
3. *Zea luxurians* (Durieu & Ascherson) Bird = jednogodišnja teozinta
4. *Zea nicaraguensis* Iltis & Benz = jednogodišnja teozinta
5. *Zea mays* L. = jednogodišnja, diploidna vrsta, uključuje tri vrste jednogodišnjih teozinta i kukuruz:

Z. mays L. ssp. *huehuetenangensis* (Iltis & Doebley) Doebley

Z. mays L. ssp. *mexicana* (Schrader) Iltis

Z. mays L. ssp. *parviglumis* Iltis & Doebley

Z. mays L. ssp. *mays* = kukuruz (eng. 'Indian corn').

Nazivi za kukuruz u svijetu

U ogromnom broju pojmova kojima se kukuruz označava, prevladavajući pojam je engleska riječ *maize*, odnosno španjolska riječ *maíz*, koja dolazi od riječi Taíno indijanaca *mahiz* ili *mahís* (Weatherwax 1954), što znači *davatelj života*. U mnogim svjetskim jezicima kukuruz ima svoj naziv u nekoj inačici ove riječi, dok su s druge strane u mnogim svjetskim jezicima nazivi sasvim drugačiji zbog različitog jezičnog podrijetla (Tablice 26 - 28). Primjerice portugalska riječ za kukuruz *milho* dolazi od latinskog *milium* (zob), a taj naziv koristio se jer je kukuruz na tome području zamijenio zob kao dominantnu žitaricu. U mnogim zemljama koristio se naziv *tursko žito* (npr. *granoturco* u Italiji) ili *arapsko žito* (npr. *blat de moro* u Kataloniji ili *aravósitos* u Grčkoj), što može biti indikator smjera dolaska kukuruza u ta područja trgovačkim i/ili osvajачkim koridorima Turaka i Arapa. U nekim zemljama ustalila se inačica riječi *misir* – u Turskoj ova riječ označava kukuruz, ali i državu Egipat, što može sugerirati da je kukuruz preko Turaka došao u Egipat – kao primjerice *misër* u Albaniji.

Tablica 26. Nazivi za kukuruz na nekim jezicima u Americi

Jezik	Naziv
taíno	mahiz
nahuatlanski	elotl, tlaoli, cintli
majanski	ixim
kečuanski (quechua)	sara
ajmarski (aymara)	tonqo, tunqu
južnoamerički španjolski	choclo

Riječ *kukuruz* i njezine brojne varijante raširene su dobrim dijelom slavenskih zemalja. Šatović (1998.) nudi detaljan prikaz kukuruznog nazivlja u hrvatskom jeziku. Riječ *corn*, koja označava kukuruz u američkoj varijanti engleskog jezika, dolazi od stare njemačke riječi *korn* koja se koristila za pšenicu, a u mnogim drugim dijelovima Zapadne Europe varijante ove riječi koristile su se i za ostale žitarice, ječam, raž, zob pa čak i leću (Cutler i Blake 2001.). Tako su europski osvajači i doseljenici zatekavši kukuruz u Americi i vidjevši

Kada se razmatra skupina kulturnog bilja kojoj kukuruz pripada – žitarice (eng. *cereals*) – naziv potječe od Cerere (lat. *Ceres*), rimske božice poljoprivrede, žetve, žitarica i plodnosti (**Spaeth** 1996.). Ranije je napisano kako kukuruz pripada rodu *Zea* i vrsti *mays*. Ime roda i vrste kukuruzu je dao švedski botaničar Carl von Linné – riječ *Zea* (ζεαία) u grčkom označava žitaricu (**Gledhill** 2002.), dok riječ *mays* najvjerojatnije potječe od gore spomenute riječi *mahiz*.

Tablica 28. Nazivi za kukuruz u nekim azijskim, afričkim i austronezijskim jezicima

Jezik	Naziv	Jezik	Naziv
Azijski		Afrički	
turski	mısır	afrikaans	mielies, koring
azerbajdžanski	qarğıdalı	swahili	mahindi, nafaka
kazaški	дән, жүгері	yoruba	agbado
tadžički	чуворӣ	zulu	ummbila
kirgiški	дән, жүгері	chewa	chimanga
turkmenski	mekgejöwen	hausa	masara
uzbečki	makkajo'xori	sotho	poone
hebrejski	brier	shona	chibage
vijetnamski	ngô	somalski	galley
hindi	makkā	bambara	kaba
urdu	makai	igbo	oka
japanski	tomorokoshi	rwanda	ibigori
kineski	yùmǐ	xhosa	umbona
mongolski	эрдэнэ шиш	Austronezijski	
tajlandski	kâo-phôt	maorski	kānga
kmerski	pot	havajski	palaoa, ka'oka
korejski	ogsusu	samoanski	sana, lapo'a
arapski	aldhura	indonezijski, malezijski	jagung
perzijski	zorrat	malgaški	katsaka
kurdski	garis, mêranî	filipinski	mais

Na više majanskih jezika (tzeltal, chontal, tzotzil, tojolab'al, ch'ol, k'iche', lacandon) za kukuruz se koristi riječ *ixim* (Kaufman i Norman 1985.; Stross 2006.), dok riječ *teozinta* potječe od nahuatlanske riječi *teocintli*, što znači *zrno bogova* (Doebly 2004.) ili *božanski kukuruz* (na nahuatlanskom *teōtl* znači bog, a *cintli* označava kukuruz). U mnogim dijelovima Meksika teozintu zovu *kukuruzna majka* (špa. *madre de maíz*) (Beadle 1980.). U Tablici 26 prikazani su nazivi za kukuruz u nekim američkim jezicima. Iako je u španjolski jezik za kukuruz introducirana inačica riječi *mahiz* (*maíz*), u domovini kukuruza Meksiku koristi se naziv *elote*, prema nahuatlanskom *elotl*.

Kukuruz je kroz povijest nosio nebrojeno puno imena. Mnoge varijante navedenih imena spominju se u različitim regijama svijeta, a isto tako postoji još puno različitih naziva za kukuruz koji nisu navedeni, pogotovo u regijama gdje se kukuruz puno koristi za ljudsku prehranu (Afrika, Latinska Amerika). U državama s modernom proizvodnjom kukuruza mnogi nazivi za kukuruz su zastarjeli i upotrebljavaju se eventualno na lokalnoj razini. Primjerice Šatović (1998.) navodi čak 90 različitih naziva za kukuruz u Hrvatskoj koji se još uvijek više ili manje koriste u raznim hrvatskim regijama – navedeni nazivi izvedeni su od riječi talijanskog (*fromentone*, *frumentun* i slično), turskog (*misir*, *mumuruska* i slično), grčkog (*kolombol*, *kolomboć* i slično) i drugih jezika. Danas praktički svaka zemlja koja proizvodi kukuruz ima svoj službeni naziv za kukuruz te još niz drugih naziva ovisno o regijama u kojima se proizvodi. Mnogi jednaki nazivi za kukuruz ili njihove vrlo slične varijante naizmjenično se koriste u mnogim susjednim državama (npr. u Indiji / Pakistanu; Kazahstanu / Kirgistanu; Indoneziji / Maleziji; Srbiji / Hrvatskoj / Bosni i Hercegovini; Rusiji / Ukrajini i mnogim drugim zemljama). U slučaju Hrvatske i susjednih zemalja, *kukuruz* je riječ koja se koristi u hrvatskom, srpskom i bosanskom jeziku.

2.2. Istraživanja o podrijetlu kukuruza

Povijest nastanka i razvoja kukuruza jedno je od najviše proučavanih područja u istraživanjima povijesti Novoga svijeta, iz razloga što je kukuruz stoljećima pa i tisućljećima bio neizostavni dio ne samo prehrambenog lanca nego i društva općenito. Uzevši u obzir kompleksnost podrijetla kukuruza, suvremeni istraživači vrlo brzo su shvatili kako ih istraživanje bez suradnje, povezivanja i umrežavanja s drugim istraživačkim područjima neće daleko odvesti te su svoje napore udružili i usmjerili u multidisciplinarna istraživanja kako bi se ova zanimljiva tematika što bolje rasvijetlila. Sukladno tome, rezultati istraživanja o podrijetlu kukuruza paralelno se mogu naći unutar različitih znanstvenih disciplina, uključujući mnoge prirodne i društvene znanosti kao što su genetika, morfologija, botanika, molekularna biologija, evolucijska razvojna biologija, arheologija, agronomija, filogenija, antropologija, lingvistika i druge. Razvojem znanstvene misli i naprednijim tehnološkim promišljanjem multidisciplinarnost i umrežavanje postali su dominantni obrazac kojim smo mogli prikupljati daleko više informacija nego ikada prije. Tako su se mnoge znanstvene discipline počele preklapati i vremenom formirati nove, gotovo hibridne varijante, kao što su primjerice paleoekologija, etnobiologija, paleoetnobotanika, biogeografija i druge.

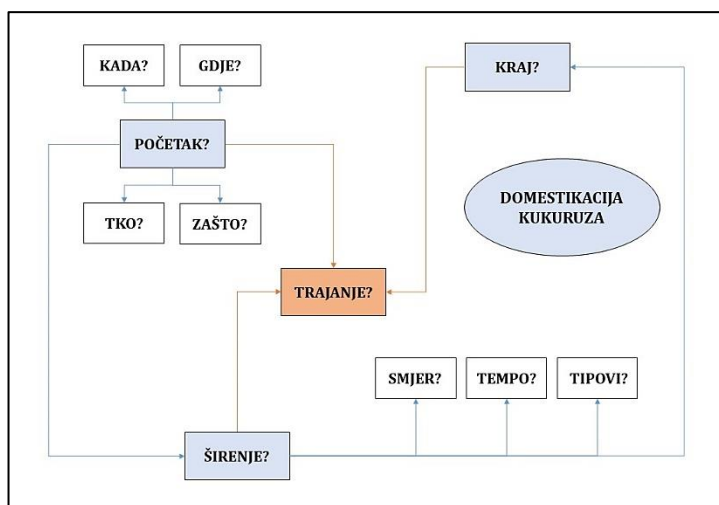
Istraživanje podrijetla kukuruza vremenom se usmjerilo u više pravaca, primjerice istraživanje gen-centara kao mjesta podrijetla (**Matsuoka i sur.** 2002.), raznih lokacija radi utvrđivanja vremenskog tijeka domestikacije (**Haas i sur.** 2013.; **Vallebuena-Estrada i sur.** 2016.) ili samog procesa domestikacije kao pokazatelja adaptacije, evolucije genoma i kompleksnih svojstava koja biljka posjeduje za vrijeme svoga biološkog razvoja (**Swanson-Wagner i sur.** 2012.). Svaki pravac istraživanja dodao je veći ili manji dio u ovaj složeni mozaik te se može reći kako je dobar dio zagonetnog podrijetla kukuruza danas razriješen.

Domestikacija kukuruza

Domestikacija (eng. *domestication*) kukuruza dugotrajan je i složen proces udomaćivanja ili pripitomljavanja kukuruza od svojih divljih predaka do modernog kukuruza kakav postoji danas. Najčešća pitanja koja postavljamo o toj

kompleksnoj tematici su: kada i gdje je započela, koliko je trajala i kada je završila. Isto tako neka od najvažnijih pitanja oko ovoga procesa su tko je započeo i vršio domestikaciju, s kojim ciljem te je li cijeli proces pokrenut namjerno ili slučajno. Mutacije koje su se javljale na nekim biljkama teozinte (jedna stabljika, upareni klasići na oklasku, višerednost, golo zrno) vremenom su postale vidljive i ljudi koji su ih koristili u jednom trenutku su ih počeli izdvajati i sijati posebno. Možda nikada nećemo saznati koji je pravi razlog tome, iako se iz sadašnje

perspektive to čini kao sasvim logičan smjer, kao nešto što se prirodno *trebalo* dogoditi, uzevši u obzir da kukuruz ima mnogobrojne prednosti nad teozintom (da se spomene samo nevjerojatna varijabilnost i produktivnost). No, prije gotovo 10 000 go-



Slika 71. Domestikacija kukuruza i najčešća pitanja koja se postavljaju u vezi toga dugotrajnog procesa.

dina, dok su još mnogi pripadnici pleistocenske megafaune hodali zemljom, malo toga se u tim mutacijama činilo kao prednost, ali proces je svejedno bio pokrenut. U početku vjerojatno slučajno, ali kako se biljka mijenjala sve je manje bilo mjesta slučajnostima, a sve više usmjerenim i planskim aktivnostima. Jedna od najočitijih posljedica domestikacije je širenje kukuruza na nova uzgojna područja, a za svaku od ključnih točaka procesa (početak, širenje, kraj) vezano je trajanje, odnosno vremenski slijed, važan aspekt koji nam u mnogim istraživanjima puno toga govori. Koliko je trajao početak domestikacije, koliko je trajao sam proces, a koliko kraj, ukoliko je proces uopće završio?

Na domestikaciju uglavnom gledamo kao na pripitomljavanje divljih biljaka i životinja kako bi služile različitim ljudskim potrebama. No, mnogi autori (**Benz i Staller 2006.**; **Blake 2015.**) objašnjavaju kako je domestikacija zapravo dvosmjernan proces, pri kojemu se osim udomaćivanja divljih tipova odvija i kulturni i civilizacijski napredak onoga koji domestikaciju vrši, dakle

obje strane postaju međusobno ovisne te uživaju obostranu korist. Čovjek je biljke i životinje iz svoje okoline uglavnom gledao kao potencijalne resurse koji se mogu iskoristiti za napredovanje i razvoj, no malo kada smo sebe gledali kao resurs korišten za napredovanje drugih vrsta (Pollan 2001., 2006.). Primjerice, s te strane gledajući kukuruz je teško mogao bolje proći, jer smo ga proširili praktički po cijelom svijetu, što nijedna druga vrsta osim čovjeka ne bi bila u stanju učiniti. S gledišta kukuruza bio je to savršen odabir. A naša ovisnost o kukuruзу danas je vidljivija nego ikada, jer je kukuruz po količinama drugi najviše proizvođen usjev na svijetu. Ovo je citat iz knjige *Maize for the gods* (Blake 2015.): *Kako je bio genetički fleksibilan kukuruz je „uvjeriorio“ ljude da ga prošire po svijetu brže i dalje nego ijednu drugu biljku u povijesti. Moć koju kukuruz ima nad nama je zastrašujuća i od tog stiska ne možemo se lagano otrgnuti. Zapravo, kukuruz postaje, godinu za godinom sve više utkan u ljudsko postojanje. Naša globalna ekonomija ovisi o njemu – kao što kukuruz ovisi o nama. Ljudi uzgajaju kukuruz i kukuruz uzgaja ljude. Kako se domestikacija zasniva na selekciji poželjnih gena, samim procesom pokrenut je i proces smanjenja genetičke raznolikosti (Tenailon i sur. 2004.; Yamasaki i sur. 2005.; Bruns 2017.), iako kukuruz i danas posjeduje ogromnu raznolikost pa ostaje za raspravu koliko je ta raznolikost zapravo ugrožena.*



Slika 72. Na slici lijevo je rekonstruirani klip primitivnog kukuruza kojega je dobio George Wells Beadle, jedan od istaknutijih ranijih genetičara kukuruza, križanjem teozinte i jednog tipa argentinskog kokičara (Doebly 2001.). Na slici desno je klasić teozinte podvrste *parviglumis* (autor: John Doebly, preuzeto iz Doebly 2004.). Čak i ovaj mali, primitivniji klip kukuruza s malo redova zrna predstavlja drastičnu razliku u odnosu na tanki klasić teozinte, kako u obliku i veličini, tako i u broju zrna.

Prikupljanje, sortiranje i datiranje uzoraka

Istraživanje prošlosti zahtjevna je zadaća u svim znanstvenim disciplinama. Jedan od najzanimljivijih aspekata istraživanja prošlosti živih bića je njihov razvoj kroz vrijeme, što zahtijeva prikupljanje i analizu velikog broja uzoraka sa što više lokacija kako bi se utvrdio određeni evolucijski slijed. Ono što zanima istraživače odgovori su na pitanja poput onoga kada je nešto započelo (primjerice domestikacija kukuruza), od čega je proces krenuo (divlji srodnici), kako se razvijao (vremenski slijed od početne točke u prošlosti do danas). U ranijim istraživanjima, kako bi sklopili što potpuniju sliku o vremenu i načinu na koji su se odvijali kompleksni procesi poput domestikacije neke biljne vrste, znanstvenici su se morali osloniti na manje pouzdane informacije, međutim razvojem znanstvenih pristupa i metoda sve više se razvijalo i datiranje uzoraka, čime je ovo područje istraživanja sve više dobivalo na važnosti.

Uzorc kukuruza koji se prikupljaju na istraživačkim ekspedicijama mogu se podijeliti na dva dijela: makroostatci (eng. *macroremains*) u koje ubrajamo zrna, klipove, oklaske, stabljike, metlice i njihove dijelove, mikroostatci (eng. *microremains*) u koje ubrajamo pelud, fitolite (mikroskopski sitne silikatne čestice koje se formiraju u stanici i međustaničnom prostoru; eng. *phytolits*) te škrobna zrnca. Prosječna veličina peludnog zrnca kukuruza je $106 \pm 4,7 \mu\text{m}$, a teozinte $85 \pm 3 \mu\text{m}$ (**Katiyar i Sachan** 1992.), dok je veličina fitolita kod trava u prosjeku između 10 - 20 μm (**Piperno** 2006.). Samo datiranje uzoraka može se podijeliti na izravno (ispitivanje samih dijelova biljke kukuruza) i neizravno (ispitivanje dijelova uzoraka organskih ostataka koji su bili u dodiru s kukuruзом ili su se nalazili u istom arheološkom sloju) (**Blake** 2006.). Revolucionarno otkriće dogodilo se 1947. godine kada se počela primjenjivati nova tehnika datiranja uzoraka temeljena na radioaktivnom izotopu ugljika (^{14}C) za koji se utvrdilo tzv. vrijeme poluraspada od 50 % svakih 5730 godina (**Libby i sur.** 1949.). Upotrebom ^{14}C datiranja uzoraka arheološka istraživanja dobila su veliki zamah jer se moglo puno točnije odrediti starost uzorka u odnosu na prijašnja datiranja uz pomoć usporedbe s uzorcima poznate starosti. Mangelsdorf uz pomoć svojih studenata počinje prikupljati uzorke u špilji *Bat Cave* u Novom Meksiku, a MacNeish u špilji *La Perra Cave* u sjeveroistočnom Meksiku i kasnije u dolini *Tehuacán*, gdje je u nekoliko špilja prikupljeno i datirano preko 24 000 uzoraka (**MacNeish i sur.** 1967., 1972.; **Mangelsdorf** (1974.)), što je dalo ogroman doprinos istraživanju podrijetla kukuruza.

Dodatni napredak u datiranju uzoraka kukuruza napravljen je istraživanjima Nelsona i Bennetta krajem 70-ih godina 20. stoljeća, koja su predstavila također revolucionarnu novu metodu datiranja – AMS (*accelerator mass spectrometry*) – temeljenu na mjerenju relativne količine ugljikovih izotopa korištenjem masenog spektrometra (**Bennett i sur.** 1977.; **Nelson i sur.** 1977.). Ova metoda omogućila je datiranje vrlo malih uzoraka i to bez ranije korištenih invazivnih postupaka koji su zahtijevali uništavanje uzoraka kako bi se dobilo dovoljno ugljika za testiranje. Masenom spektrometrijom mogu se također mjeriti **odnosi izotopa** (primjerice $^{13}\text{C} : ^{12}\text{C}$) u tkivima ljudi i životinja koji su se možda hranili kukuruzom i na taj način proširiti sliku o smjeru širenja kukuruza. Ljudi koji u svojoj prehrani imaju dosta kukuruza ili drugih C4 biljaka imat će veći udio ^{13}C izotopa u svome tkivu u odnosu na izotop ^{12}C jer C4 biljke, kao i CAM biljke imaju veći udio ^{13}C izotopa u odnosu na ^{12}C (**Keeley i Rundel** 2003.). Određivanje omjera izotopa drugih elemenata poput dušika ($^{15}\text{N} : ^{14}\text{N}$), u kombinaciji s omjerima izotopa ugljika omogućuje još bolje razumijevanje prehranbenih navika pojedinih skupina u hranidbenom lancu (**Richards i Trinkhaus** 2009.).



Slika 73. Područje na kojemu je započela domestikacija kukuruza (dolina rijeke Balsas), neka područja na kojima su pronađeni najstariji ostatci kukuruza (dolina Tehuacán, dolina Oaxaca, špilja San Andrés) te smjer širenja kukuruza na istok i jug; područje na karti osjenčano zelenom bojom predstavlja geografsku distribuciju divljeg suncokreta (preuzeto iz **Piperno** 2001.).

Napredak u metodologiji, ali i primjeni istraživanja (razvoj tehnika prikupljanja i datiranja uzoraka te obrade podataka) omogućio je razvoj nekoliko važnih područja istraživanja domestikacije i detaljnije ispitivanje ranog širenja kukuruza. Mnoga nova istraživanja pružila su dovoljno dokaza da se zaključi kako se početak domestikacije najvjerojatnije dogodio u dolini rijeke Balsas, odakle se kukuruz širio na sjever i jug (**Wang i sur.** 1999.; **Piperno** 2001.; **Matsuoka i sur.** 2002.; **Piperno i sur.** 2009.; **Ranere i sur.** 2009.).

Gen-centri

Velika većina kulturnih biljka potječe s određenog područja koje se naziva *centar podrijetla* ili *gen-centar*. To je geografska regija u kojoj je kulturna biljka nastala i iz koje se širila dalje. Sam koncept gen-centra (eng. *center of origin* ili *domestication center*) prvi je stvorio ruski botaničar i fitogeograf Nikolaj Ivanovič Vavilov, koji je svojim radom značajno doprinio razvoju znanstvene misli o podrijetlu i razvoju kulturnog bilja. Prema **Vavilovu** (1992.), kukuruz je potekao iz Srednjeameričkog gen-centra, što odgovara području središnjeg Meksika i dijelom Guatemale. Te geografske regije pripadaju u nekada veliku regiju koja se naziva **Mezoamerika** ili internacionalno *Mesoamerica*, a obuhvaćala je središnji i južni Meksiko te ostale zemlje Srednje Amerike. Na tome su velikom području osim kukuruza nastale i mnoge druge važne kulture kao što su pamuk, grah, bundeve, paprika, kakao, avokado, amarant, batat, papaja, guava i druge (**Harlan** 1975.; **Pearsall** 2015.). Mnogi znanstvenici navode kako je nastanak važnih poljoprivrednih kultura bio usko vezan uz nastanak velikih civilizacija u toj regiji (**Beadle** 1980.; **Pope i sur.** 2001.; **Landon** 2008.). S druge strane, centar raznolikosti (eng. *center of diversity*) neke kulture predstavlja područje na kojemu se može pronaći najviše njoj srodnih vrsta, što se zapravo uglavnom podudara s gen-centrom, iako se centar raznolikosti može i umjetno stvoriti introdukcijom više srodnih vrsta u neko novo područje.

Postanak i širenje kukuruza kao kulturne biljke predmet je opsežnih istraživanja i rasprava te predstavlja jednu od najviše istraživanih tema u proučavanju povijesti srednjeameričkih civilizacija. Glavna pitanja vezana uz podrijetlo kukuruza su kako i kada je kukuruz nastao, na kojem području te je li se širio s jednog mjesta nastanka ili više njih. Dakle, s jedne strane je hipoteza o širenju

kukuruza iz jednog gen-centra na ostala područja (eng. *single domestication*) nasuprot hipotezi o višestrukim neovisnim gen-centrima za pojedine regije (eng. *multiple domestication centres*), koja je još poznatija i kao hipoteza o neovisnom podrijetlu (eng. *independent origin*). Vezano uz ove hipoteze, zanimljivo je kako određeni tipovi kulturnog bilja (primjerice bundeve, rajčica, grah) imaju svoje predstavnike (a nekada su to čak i iste vrste) u dva ili više gen-centara, što znači da su nastali odvojeno na dva ili više različitih područja. Dakako, ova činjenica višestruko se i kroz razna istraživanja ispitivala kod kukuruza. Neki autori su pretpostavljali da se ogromna raznolikost kukuruza kakva postoji danas može najbolje objasniti višestrukim centrima podrijetla (**McClintock** 1959.; **Mangelsdorf** 1974.; **Kato** 1984.; **Galinat** 1988.; **Bonavia** 2013.), dok su drugi podržavali hipotezu jednog mjesta podrijetla, koja se novijim istraživanjima pokazala kao točna (**Doebley** 1990.; **Matsuoka i sur.** 2002.; **Doebley** 2004.). Istraživanje koje su proveli Matsuoka i suradnici (iz laboratorija Johna Doebleya) prerاسlo je u najutjecajniji rad o podrijetlu kukuruza, citiran preko 1600 puta u raznim drugim radovima.

Kako je vremenom utvrđeno da teozinta igra važnu ulogu u podrijetlu kukuruza, čest predmet rasprava u ovakvim istraživanjima bilo je pitanje je li kukuruz nastao od jedne ili više vrsta teozinte pa se problem višestrukih centara podrijetla kukuruza dodatno raščlanió na razinu manjih regija. Primjerice, dvije najvažnije megaregije koje se izdvajaju kao mogući i/ili vjerojatni gen-centri kukuruza su Mezoamerika i područje sjevernog dijela Anda, ali se u sklopu Mezoamerike može izdvojiti i više manjih regija (Oaxaca, Michoacán, Yucatán, Centralni Meksiko i druge), a unutar njih još manjih mikro-regija, između kojih isto tako ima geografskih i klimatoloških razlika. Ipak, uzevši u obzir sve dokaze i najnovija (ali i mnoga starija) istraživanja, može se s velikom sigurnošću reći kako je kukuruz podrijetlom iz Mezoamerike ili Meksičkog gen-centra, kako je iz tog područja postupno migrirao u dva glavna pravca: prema jugozapadu Sjedinjenih Američkih Država, a onda prema istoku i Kanadi te prema jugu, Karibima, ravninama Južne Amerike i Andama (**Matsuoka i sur.** 2002.; **Larson i sur.** 2014.), kao i to da je vjerojatno nastao iz jedne vrste teozinte, točnije podvrste *parviglumis* (**Doebley** 1990., 2004.).

Od specifičnih regija koje se povezuju s nastankom kukuruza najviše se spominje dolina rijeke Balsas (**Doebley** 2004.; **Piperno i sur.** 2009.), koja je najvjerojatnije područje podrijetla kukuruza. Zato se podvrsta *parviglumis* naziva

i *Balsas teozintom*. Rijeka Balsas jedna je od najdužih rijeka u Meksiku, izvire u saveznoj državi Puebla i teče dobrim dijelom savezne države Guerrero. Predstavlja prirodnu granicu saveznih država Guerrero i Michoacán te se na kraju svoga slijeva ulijeva u Tihi ocean. Skupina autora (**van Heerwaarden i sur.** 2012.) u svome je istraživanju pokušala dodatno razjasniti neke nejasnoće oko mjesta domestikacije i tipa teozinte iz kojega se razvio kukuruz. Naime, iako se domestikacija iz teozinte podvrste *parviglumis* u kukuruz odvijala u nizinskim dijelovima Meksika, moderni kukuruz koji je najviše povezan s tom podvrstom teozinte uzgaja se u pobrđu, gdje ona prirodno ne raste. Jedno je od mogućih rješenja ovoga paradoksa miješanje kukuruza s drugom podvrstom teozinte (*Zea mays* ssp. *mexicana*) što je moglo utjecati na genetičku sličnost između kukuruza iz pobrđa i podvrste *parviglumis*, budući da je *mexicana* teozinta u bližem srodstvu s *parviglumis* teozintom nego s kukuruzom (**Sawers i Sanchez Leon** 2011.). Nalazišta s također vrlo starim nalazima ostataka kukuruza (od prije oko 3000 godina i starije) uključuju špilje *San Marcos*, *Coxcatlán*, *El Riego* i druge u dolini Tehuacán, savezna država Puebla (**Mangelsdorf i sur.** 1967.; **Long i sur.** 1989.; **Benz i Iltis** 1990.; **Smith** 2005.; **Benz** 2006.), špilje *Romero* i *Valenzuela*, savezna država Tamaulipas (**Smith** 1997.), *San Andrés* kod Meksičkog zaljeva, savezna država Tabasco (**Pope i sur.** 2001.; **Pohl i sur.** 2007.), špilju *Guilá Naquitz*, savezna država Oaxaca (**Flannery** 1986.; **Benz** 2001.; **Piperno i Flannery** 2001.), *San Carlos*, savezna država Chiapas (**Clark** 1994.; **Blake i sur.** 1995.), *Cerro Juanaquena*, savezna država Chihuahua (**Hard i Roney** 1998.) i druga nalazišta.

Teorije o podrijetlu i evoluciji kukuruza

Kukuruz je biljka koja se ne može razmnožavati bez utjecaja čovjeka. Za razliku od mnogih biljaka koje svoje sjeme ispuštaju (rasipaju) po tlu, klip kukuruza, osim što sadrži zrna koja su čvrsto pričvršćena na oklasak, obavijen je čvrstim listovima komušine te je samostalno širenje sjemena praktički potpuno onemogućeno. To su neka od svojstava na osnovu kojih su rani istraživači podrijetla kukuruza zaključili da je kukuruz ciljano razvijen od strane čovjeka. Iako je u prošlosti postojalo više različitih teorija o podrijetlu kukuruza – teorija herbalista, teorija o azijskom podrijetlu, teorija o afričkom podrijetlu, deduktivna teorija i druge, najvjerodostojnijima su se pokazale teorije o američkom podrijetlu, čemu u prilog idu dvije važne činjenice – najbliži srodnici

kukuruza su iz Amerike, a uz to je kukuruz na tome području kroz dugi niz godina bio vrlo rasprostranjen (**Weatherwax i Randolph** 1955.). Kako se uoči velikih geografskih otkrića vjerovalo da se traži put do Indije, nakon što je kukuruz donesen iz Amerike neki su istraživači stvorili teorije o azijskom podrijetlu jer se vjerovalo da je to biljka iz Starog svijeta. Iako i danas ima izvješća koja tvrde da je kukuruz postojao u Starom svijetu prije 15. stoljeća (primjerice u Egiptu, Indiji, Južnoafričkoj Republici i nekim drugim zemljama), ne može se naći nijedan nepobitan dokaz koji bi potvrdio tako nešto. Mnogi noviji dokazi iz genetike, arheologije i mnogih drugih znanstvenih disciplina učvrstili su vrijednost teorija o američkom podrijetlu, dakle vremenom su se istraživači složili kako je kukuruz nastao na zapadnoj hemisferi (**Hallauer i Miranda** 1988.), nakon čega je uslijedilo razdoblje istraživanja usmjerenih na Ameriku, posebno Meksiko.

U nekim ranijim istraživačkim vremenima iskazi iz usmenih predaja i starih zapisa u kulturama širom svijeta često nisu bili dovoljno jasni, a iznimka nije ni uzgoj kukuruza, zbog čega je u početku bilo teško točno odrediti gdje i kada je kukuruz (barem približno) postao ovakvom biljkom kakva je danas. Nijedan divlji srodnik (barem po klipu) nije se činio toliko sličan kukuruzu da bi ga se odmah moglo proglasiti pretkom kukuruza. No, u zadnjih stotinjak godina, razvojem znanosti i provođenjem detaljnijih i brojnijih istraživanja unutar ovoga kompleksnog područja postupno se s usmenih predaja i starih zapisa prelazilo na konkretne, znanstveno utemeljene dokaze.

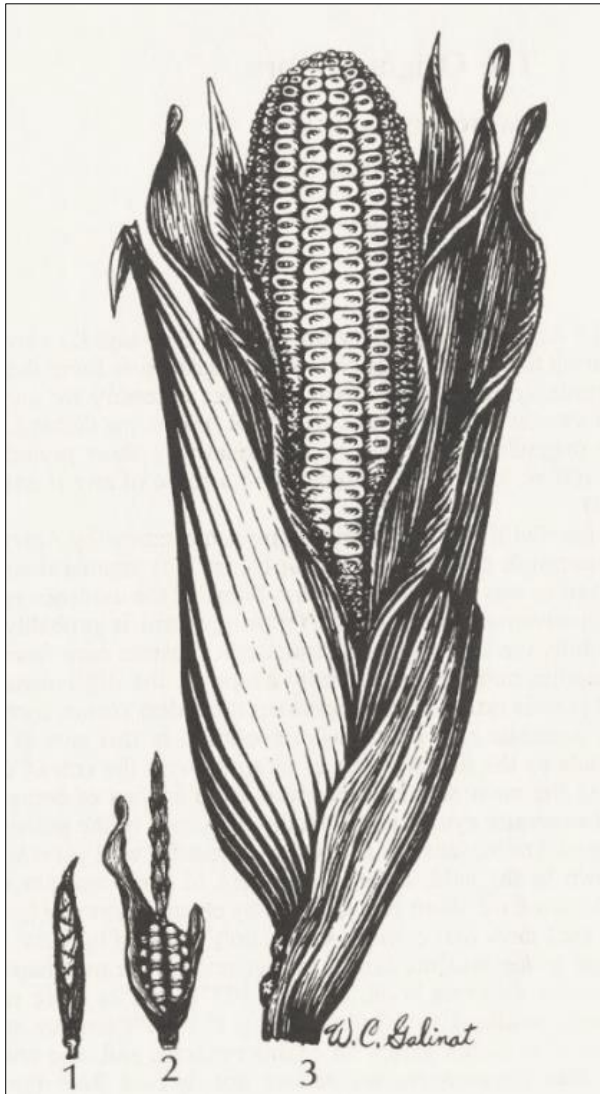
Mnoga istraživanja provedena su na biljkama iz roda *Tripsacum* (najviše na vrsti *Tripsacum dactyloides*; eng. *gama grass*), koji je prije više od sto godina označen kao mogući divlji srodnik kukuruza, a samim time i mogući predak iz kojega se križanjem s teozintom razvio današnji kukuruz (**MacNeish i Eubanks** 2000.; **Eubanks** 2001.a, 2001.b). Nastale su tako razne varijante nekada popularne trodijelne teorije (**Mangelsdorf i Reeves** 1939.; **Reeves and Mangelsdorf** 1959.; **Mangelsdorf** 1961.; **Galinat i sur.** 1964.; **De Wet i Harlan** 1972.) po kojoj je *Tripsacum* igrao značajnu ulogu u nastanku modernog kukuruza, čak i nakon što je bilo poznato da vrste iz roda *Tripsacum* imaju različit broj kromosoma od kukuruza. Ipak, razvojem novih tehnika i metoda istraživanja i uvođenjem novih dokaza teorije o *Tripsacumu* kao divljem pretku kukuruza nisu se mogle dalje održavati i fokus je u velikoj većini istraživanja prebačen na teozintu (**Beadle** 1980.; **Doebly** 1990.; **Bennetzen i sur.** 2001.;

Fukunaga i sur. 2005.; **Flint-Garcia** 2017.). Iako se ranije mislilo da teozinta i kukuruz pripadaju različitim rodovima (teozinta je prvo bila klasificirana kao rod *Euchlaena*), daljnja istraživanja svrstala su ove dvije biljke u isti rod (**Reeves i Mangelsdorf** 1942.), a kasnije čak i u istu vrstu. Sve dok nisu otkrivene specifične citogenetičke podudarnosti između kukuruza i teozinte, teorija o teozinti kao pretku kukuruza nije se u potpunosti prihvatila. Unatoč očitim morfološkim razlikama vremenom se shvatilo da su genomi ove dvije biljke vrlo slični, da imaju isti broj kromosoma ($n = 10$), da se mogu međusobno križati i stvarati fertile hibride, da im se kromosomi u fazi pahitena blisko sparuju te da naposljetku pripadaju istoj vrsti (**Beadle** 1932., 1939.). **Emerson i Beadle** (1932.) dodali su da hibridi kukuruza i teozinte imaju praktički jednaku učestalost miješanja dijelova kromatida u mejozi (eng. *crossing-over*). Kako se preko mogućnosti oplodnje biljnih vrsta sa svojim divljim srođnicima može razjasniti stupanj njihove međusobne povezanosti, puno istraživanja provedeno je na križanjima kukuruza s bližim (teozinte) i daljnjim (*Tripsacum*) srođnicima (**Mangelsdorf i Reeves** 1938.; **Harlan i sur.** 1970.; **Harlan i De Wet** 1977.; **Mangelsdorf** 1983.).

Paul C. Mangelsdorf, zajedno s Robertom G. Reevesom, u razdoblju od 1927. do 1940. godine razradio je tzv. **trodijelnu teoriju** (eng. *the tripartite hypothesis*) o podrijetlu kukuruza i njegovih najbližih srođnika (**Mangelsdorf i Reeves** 1938., 1939.), čije su glavne hipoteze: 1) predak kultiviranog kukuruza bio je jedan (divlji) tip kukuruza pljevičara; 2) teozinta, najbliži srođnik kukuruza, nije njegov predak, nego je nastala kao produkt hibridizacije kukuruza i *Tripsacuma*; 3) mnogi moderni tipovi kukuruza su prošli određenu introgresiju svojstava od teozinte, *Tripsacuma* ili oboje.

Iako je u svoje vrijeme ova teorija potakla mnogobrojne rasprave i istraživanja te postala dominantna i praktički najpopularnija teorija (**Mangelsdorf** 1958.; **Mangelsdorf i Galinat** 1964.; **Mangelsdorf i sur.** 1964.), danas je – ali zapravo i već duže vremena – uglavnom odbačena. U isto vrijeme kada je objavljena trodijelna teorija **Beadle** (1939.) je predstavio suprotnu teoriju, tzv. teoriju jedan gen, jedno svojstvo ili **teorija teozinte** (eng. *one-gene, one-trait hypothesis* ili *teosinte hypothesis*), koja je vremenom i predstavljanjem novih dokaza (**Beadle** 1972., 1980., 1981.; **Doebly** 1990.; **Bennetzen i sur.** 2001.), pogotovo od 1970-ih i 1980-ih godina, prevladala u odnosu na trodijelnu teoriju. Iako u mirovini od 1968. godine, Beadle nije prestao raditi na podrijetlu

kukuruza te je jedan od najzaslužnijih za prihvaćanje teozinte kao pretka kukuruza (Beadle 1977., 1978.). Doebley (2001.) opisuje kako je Beadle, da bi potvrdio ono što je smatrao istinitim, u Meksiku organizirao tzv. lov na teozintu (eng. *teosinte hunt*). Cilj njegove misije bio je prikupiti uzorke sjemena populacija teozinte i pronaći mutante koji bi mogli rasvijetliti korake u ranijoj evoluciji kukuruza. Partneri u ovoj ekspediciji bili su mu Kent Flannery, Walton Galinat, Hugh Iltis, L. F. Randolph i H. Garrison Wilkes, u tadašnje vrijeme sama elita istraživanja o podrijetlu kukuruza.



Slika 74. Teozinta (1), primitivni kukuruz (2) i današnji kukuruz (3) (autor W. C. Galinat, preuzeto iz Galinat 1988.); ovo je još jedna slika koja zorno prikazuje ogromnu razliku između malog klasića teozinte (10-ak zrna od kojih je svako od njih čvrsto obavijeno tvrdom, drvenastom ljuskom) i višestruko većeg klipa kukuruza (nekoliko stotina zrna bez pljevica ili bilo kakvog omotača osim kumušine koja obavija cijeli klip). Isto tako, ogromne promjene doživjelo je klasno vreteno koje se vremenom formiralo u robusni oklask koji na sebi nosi uparene klasiće čvrsto ukorijenjene u drvenastom dijelu oklaska. Zanimljivo je kako je na klasiću teozinte najtvrdi dio vanjski omotač zrna, a zrno je unutra, dok je kod kukuruza obratno, drvenasti dio je unutra, a zrna su vani, kao da se klasić teozinte preokrenuo iznutra prema van i višestruko uvećao postavši klip.

U jednom od svojih najkasnijih radova (**Beadle** 1980.) ističe dvije glavne suprotstavljene teorije o podrijetlu kukuruza u drugoj polovini dvadesetog stoljeća: prema prvoj, teozinta je zapravo divlji kukuruz iz kojega se razvio moderni kukuruz, a prema drugoj je divlji kukuruz, ako je postojao, jednostavno izumro zbog uvođenja i široke rasprostranjenosti umjetnom selekcijom dobivenih tipova. Iako je prva teorija dugo vremena bila aktualna, u prvoj polovini dvadesetog stoljeća pomalo je gubila na popularnosti. Ipak, razvojem znanosti i daljnjim istraživanjima na ovome polju sve više novih informacija išlo je u prilog prvoj teoriji. Prema Beadleu, čini se sasvim izgledno da je teozinta u razdoblju od prije 8000 do 15 000 godina bila divlji predak kukuruza iz kojega se umjetnom selekcijom razvio današnji kukuruz. Beadle je za svoja istraživanja 1958. godine dobio Nobelovu nagradu.

Prema istraživanjima **Galinata** (1988.) teozinta je najvjerojatniji predak kukuruza (eng. *maize ancestor*), ali i najvjerojatnija vrsta iz koje je razvijen kukuruz (eng. *maize progenitor*), iako su se oko toga dugo vodile rasprave, dakle, je li kukuruz nastao iz teozinte kao divlje biljke ili je ona u to vrijeme već bila domestikirana. Na osnovu istraživanja o podrijetlu kukuruza kroz proučavanje DNK izoenzima i kloroplasta **Doebley** (1990.) zaključuje kako je teozinta (i to podvrsta *Z. mays ssp. parviglumis*) najvjerojatniji predak kukuruza. Kako bi istražili mehanizme evolucije koji djeluju kroz hibridizaciju i stvaranje prirodne raznolikosti **Ellstrand i sur.** (2007.) istraživali su mogućnosti spontane hibridizacije kukuruza i teozinte. Njihovi rezultati pokazali su kako se kukuruz i teozinta podvrste *mexicana* prirodno križaju u izrazito rijetkim slučajevima (< 1 %), dok se križanja kukuruza i teozinte podvrste *parviglumis* odvijaju uz puno veću učestalost (> 50 %). To potvrđuje podvrstu *parviglumis* kao najbližeg srodnika kukuruza. U istraživanju **Baltazara i sur.** (2005.) populacije kukuruza koje su bile oprašivane peludom teozinte podvrste *mexicana* stvorile su zrno na samo 1 - 2 % plodnica od ukupnog broja plodnica na cijelom klipu.

Dugogodišnja debata između Mangelsdorfa (trodijelna teorija) i Beadlea (teorija teozinte) vremenom je postala centralni lajtmotiv istraživanja podrijetla i evolucije kukuruza. Zanimljivo je kako Mangelsdorf, iako jedan od najcjeljenijih znanstvenika u tome području, nikada nije odustao od nekih ideja čak i kada su se vremenom pokazale kao pogrešne. Jednako tako je zanimljivo koliko dugo je njegova teorija bila prevladavajuća, vjerojatno zato jer je bila generalno zanimljiva, ali i naširoko popularizirana i žestoko branjena. Ipak, kako

se to više puta pokazalo, mnoge stare teorije nisu mogle podnijeti teret novih dokaza pa su brže ili sporije otišle u povijest. No, mnoge pogrešne teorije oduvijek su imale vrlo značajnu ulogu jer su poticale sumnju i daljnja istraživanja. Unatoč prevladavajućim dokazima u korist teorije teozinte, danas još uvijek ima zagovornika trodijelne i ostalih, sada možemo reći alternativnih teorija (npr. Eubanks, Bonavia, Grobman). To sve podsjeća nas kako je sumnja osnovni pokretač novih otkrića, koji ipak ima granica kada se o ispitivanoj pojavi stvori konsenzus (primjerice više ne preispitujemo je li Zemlja ravna niti je li čovjek nastao evolucijom). Ulaganjem u nova istraživanja vremenom se određeni izvori informacija potvrde ili ne, dakle neki dokazi se višestruko potvrde i vode prema stvaranju znanstvenog konsenzusa. U slučaju podrijetla i evolucije kukuruza, već i sama količina (ali i kvaliteta) dokaza u korist teorije teozinte vremenom je uvelike nadmašila sve ostale. To je dobrim dijelom usmjerilo daljnja istraživanja i dodatno izoštrilo fokus istraživača.

Domestikacijski geni i razlike između kukuruza i teozinte

Mnoga istraživanja provedena su u svrhu otkrivanja promjena koje je umjetna selekcija uzrokovala kod teozinte i vremenom je preobrazila u kukuruz (**Doebly** 1992.). **Galinat** (1983.) je kombinirajući vlastite rezultate s rezultatima drugih znanstvenika izdvojio tri ključna događaja koji su izravno utjecali na nastanak kukuruza od teozinte te se smatraju prvim namjernim koracima u stvaranju kukuruza kakvoga znamo danas: 1) nastanak uparenih ženskih klasića na klip (kukuruz) od pojedinačnih klasića na klasu (teozinta); 2) nastanak višerednih klipova (kukuruz) umjesto dvorednih klasova (teozinta); 3) nastanak klasnog vretena koje se ne osipa s centralne osi (oklasak kod kukuruza) umjesto klasnog vretena koje se osipa (teozinta).

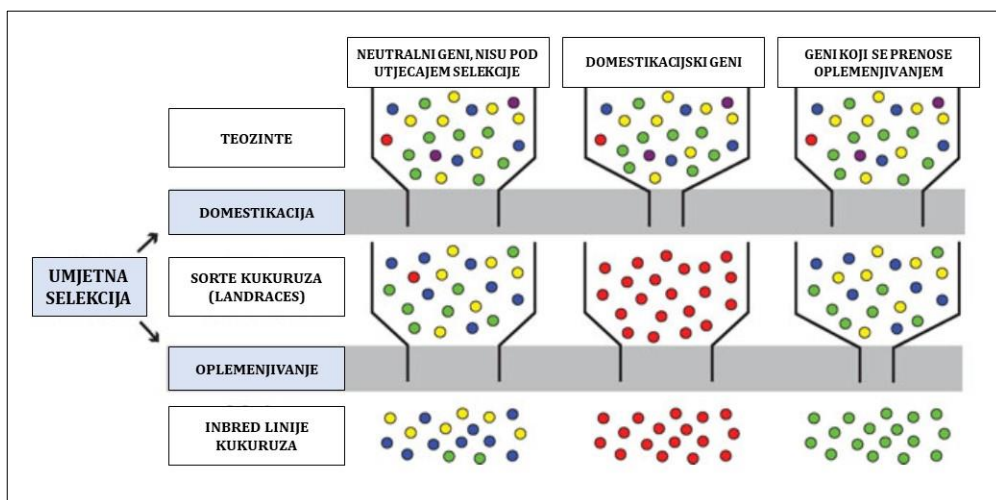
Isti autor (**Galinat** 1992.) ova tri svojstva nadopunio je četvrtim svojstvom, a to je pokriveno zrno kod teozinte u usporedbi s nepokrivenim zrnom kod kukuruza, što je rezultat istraživanja u kojima je razlika između pokrivenog zrna teozinte i golog zrna kukuruza identificirana kao mutacija jednog nukleotida unutar gena *tg1* (*teosinte glume architecture*), koja rezultira razlikom u samo jednoj aminokiselini (**Dorweiler i sur.** 1993.; **Wang i sur.** 2005.). Drugi autori (**Mangelsdorf i Reeves** 1939.; **Doebly** 2004.) isto tako navode četiri ključna svojstva po kojima se kukuruz razlikuje od teozinte – pokriveno zrno koje se

ne osipa, smješteno u dvostrukim klasićima na višerednom klipu. Kandidatni geni koji uključuju ove važne evolucijske promjene uključuju gene *teosinte branched1 (tb1)* (Doebley 1996.; Doebley i sur. 1997.), koji kontrolira mogućnost grananja stabljike, odnosno dužinu klipne drške i nalazi se na kromosomu 1; spomenuti *tgal* (Dorweiler i sur. 1993.; Doebley i Stec 1993.; Dorweiler i Doebley 1997.), koji omogućuje goložrnost i nalazi se na kromosomu 4 te *zea floricaula/leafy2 (zfl2)* (Galinat 1974; Doebley i Stec 1993.) koji se nalazi na kromosomu 2. Martínez-Ainsworth i Tenailon (2016.) navode popis nekih od najvažnijih gena uključenih u proces domestikacije kukuruza (Tablica 29). Poput gena *tb1* gen *ba1* kontrolira stvaranje meristema u pazušču lista, gen *gt1* kontrolira izduživanje bočnih grana stabljike, a gen *ral* arhitekturu grananja. Gen *Zagl1* kontrolira izduživanje ženske cvati, dok gen *ZmSh1* kontrolira osipanje zrna.

Tablica 29. Neki od važnijih gena uključenih u proces domestikacije

Naziv gena	Izvor
BARREN STALK1 (ba1)	Gallavotti i sur. (2004.)
Brittle2 (bt2)	Whitt i sur. (2002.)
Grassy tillers1 (gt1)	Whipple i sur. (2011.)
PROLAMIN-BOX BINDING FACTOR (PBF1)	Jaenicke-Després i sur. (2003.); Lang i sur. (2014.)
Ramosa1 (ra1)	Sigmon i Vollbrecht (2010.)
Starch branching enzyme IIB (ae1)	Whitt i sur. (2002.)
Teosinte branched1 (tb1)	Studer i sur. (2011.); Doebley (2004.)
Teosinte glume architecture (tga1)	Wang i sur. (2005.)
Zea agamous-like1 (Zagl1)	Vigorous i sur. (2002.); Zhao i sur. (2008.)
ZmSHATTERING1 (ZmSh1)	Lin i sur. (2012.)

Još u prvoj polovini 20. stoljeća Beadle je razrađivao ideju – koju je pripisao svome mentoru Emersonu – o manjem broju mutacija većeg efekta koje su preobrazile teozintu u kukuruz. Kako bi istražio tu problematiku, Beadle je zasnovao F₂ populaciju križanaca kukuruza i teozinte od čak 50 000 biljaka na kojima je ustanovio kako na oko 500 biljaka dolazi jedna biljka teozinte i jedna biljka kukuruza, što je značilo da se teozinta i kukuruz razlikuju u 4 - 5 značajnijih (major) gena (**Beadle** 1972., 1980.). Iako su vezanost gena i dominacija komplicirali ovakvo tumačenje, Beadle je smatrao da su razlike između kukuruza i teozinte dovoljno jednostavne da budu rezultat selekcije za vrijeme domestikacije. Taj pravac istraživanja zadržao se do danas kroz razna istraživanja gena koji su imali glavnu ulogu u domestikaciji kukuruza (*tb1*, *tga1* i drugi). **Doebly** (2004.) također opisuje najvažnije promjene pri razvoju kukuruza iz teozinte: prvo svojstvo je pretvorba dijelova tvrdog omotača zrna teozinte u oklasak kukuruza; drugo je osipanje zrna kod teozinte, odnosno čvrsto pričvršćivanje zrna uz oklasak kod kukuruza; treće svojstvo je postojanje jednog klasića unutar omotača zrna kod teozinte, odnosno uparenih klasića na oklasku kod kukuruza (kukuruz zbog toga uvijek ima paran broj redova zrna) i četvrto svojstvo je dvorednost teozinte, odnosno višerednost kukuruza.



Slika 75. Utjecaj umjetne selekcije na frekvenciju različitih kategorija gena u populaciji kroz procese domestikacije i oplemenjivanja (**Yamasaki i sur.** 2005.). U procesima domestikacije i oplemenjivanja bilja čovjek prema fenotipu i ostalim pokazateljima odabire jedinke čiji će se geni prenijeti u potomstvo, pri čemu se određeni geni ili skupine gena izdvajaju kao ciljani (eng. target genes), a to su u ovome prikazu domestikacijski geni (eng. domestication genes) i geni koji se prenose oplemenjivanjem (eng. improvement genes).

Puno radova na temelju nekoliko kandidatnih gena koji su odgovorni za osnovne razlike između kukuruza i teozinte napisano je već do kraja 20. stoljeća, ali bilo je jasno da cijeli proces domestikacije (pokretan umjetnom selekcijom kao glavnim mehanizmom) uključuje puno više od tih nekoliko gena, odnosno uključuje dodatne regije u genomu i razne genske interakcije kao što su intralelna interakcija (dominantno ili aditivno djelovanje gena) i interalelna interakcija (epistaza). Kada se govori o kandidatnim genima, važan su predmet istraživanja i pleiotropni učinak gena te vezanost gena. Dakle, ako postoje neki ciljani domestikacijski geni koje možemo proglasiti glavnim uzročnicima značajnih promjena koje su dovele do transformacije teozinte u kukuruz – a to je evidentno već praktički desetljećima – oni su svakako bili povezani s mnogim drugim genima manjega učinka. Načini na koje se to dogodilo, kao i vremenski slijed tih složenih mehanizama još uvijek se istražuju. Regulacija gena i njihova interakcija unutar genoma i s okolinom još uvijek predstavlja ogroman izazov u svim područjima genetičkih i genomičkih istraživanja, od kukuruza do čovjeka.

Iako se uloga selekcije u domestikaciji kukuruza istražuje već nekoliko desetljeća (**Wang i sur.** 1999.; **Yamasaki i sur.** 2005.; **Jaenicke-Després i sur.** 2006.; **Tian i sur.** 2012.; **Galić i sur.** 2020.b), tehnološkim napretkom i razvojem metodologije istraživanja prema kandidatnim genima i otkrivanju na koji način je umjetna selekcija upravljanjem fenotipom utjecala na genotip te na samu domestikaciju kukuruza u zadnjih je desetak godina usmjeren dodatni fokus (**Studer i sur.** 2011.; **Lemmon i Doebley** 2014.; **Studer i sur.** 2017.; **Stitzer i Ross-Ibarra** 2018.; **Wills i sur.** 2018.; **Liu i sur.** 2020.). Dio istraživanja vezanih uz selekciju i domestikaciju usmjeren je i u pravcu nekih sekundarnih svojstava. **Lange i sur.** (2014.) navode kako teozinte imaju veću razinu otpornosti na štetnike te naglašavaju vrijednost proučavanja teozinte kako bi se pronašla svojstva otpornosti na štetnike koja se onda kod kukuruza mogu poboljšati oplemenjivanjem. **Schmidt i sur.** (2016.) ističu važnost proučavanja svojstava korijena i rizosfere biljke kukuruza u odnosu na teozintu jer se korijen teozinte pod utjecajem indirektno selekcije također mijenjao i prilagođavao, a te razlike mogu predstavljati važne informacije u smislu objašnjavanja mehanizama kojima su domestikacija i oplemenjivanje kukuruza utjecali na korijen i samu rizosferu kukuruza. Kada se govori o vremenu potrebnom da teozinta postane kukuruz taj period procjenjuje se na nekoliko stotina godina

(Galinat 1992.; Wang i sur. 1999.), što također pokazuje koliko su te dvije biljke slične. Unatoč selekciji, kukuruz je zadržao veliku genetičku raznolikost: procjenjuje se da se bilo koje dvije populacije kukuruza u prosjeku razlikuju u 1,4 % svoje DNK (Tenailon i sur. 2001.), što je otprilike kao i razlika između čovjeka i čimpanze (Chen i Li 2001.). Za pretpostaviti je kako će jedan od glavnih budućih pravaca u istraživanjima o podrijetlu i domestikaciji kukuruza biti usmjeren prema dodatnom pojašnjavanju složenih fenomena poput utjecaja selekcije na evoluciju kukuruza i vremenskog slijeda njegova širenja.

Tablica 30. Osnovne morfološke razlike između teozinte i kukuruza

Teozinta	Kukuruz
grananje stabljike i višeklipost	jedna stabljika i jedan ili nekoliko klipova
na vrhovima lateralnih ogranaka je metlica	lateralni ogranaci su modificirani u klipove
listovi lateralnih ogranaka su pravi listovi	listovi lateralnih ogranaka su modificirani u listove komušine
sekundarni lateralni ogranaci su modificirani u klasove	nema sekundarnih lateralnih ogranaka
klasovi su pokriveni jednim ili nekoliko listova komušine	klipovi su čvrsto umotani u više listova komušine
klasovi imaju samo dva reda zrna	klipovi su višeredni (8 - 22 reda po klipu)
klas sadrži 10 - 12 zrna	klip sadrži 250 - 500 zrna
svako zrno čvrsto je zatvoreno u omotač	zrno je golo i bez omotača
drugi klasić u paru je sterilan pa omotač sadrži jedno zrno	na oklasku klasići sa zrnom su uvijek upareni
osipanje zrna u zriobi	nema osipanja zrna, sva su dobro pričvršćena za oklasak
u određenom je stupnju prisutna dormantnost sjemena	nema dormantnosti sjemena

Razlike između kukuruza i teozinte najočitije su kada se gledaju klip kukuruza i klasić teozinte. Mnogi autori općenito navode kako se ove dvije biljke drastično razlikuju, a mnogi te razlike usmjeravaju ponajviše na klip. Čisto po habitusu, izgledu listova, metlica, po onome kako biljka u svome staništu izgleda, kukuruz i teozinta poprilično su slični (na mnogim slikama teozinta izgleda kao kukuruz s malo većim zapercima). **Hossain i sur.** (2016.) su na osnovu istraživanja koje su proveli **Doebly i Stec** (1991.) predstavili razlike između glavnih svojstava teozinte i kukuruza (Tablica 30). Kada se govori o razlikama između teozinte i kukuruza, vrijedi spomenuti i rasprave oko pitanja iz čega se točno razvio klip kukuruza. To pitanje predstavlja zapravo jedan od najzanimljivijih aspekata domestikacije kukuruza jer je klip – osim što je gospodarski najvažniji dio cijele biljke – pretrpio i najradikalnije promjene od svih ostalih dijelova. **Doebly** (1990.) ističe dvije teorije o nastanku klipa kukuruza – iz ženskog cvata teozinte i iz muškog cvata teozinte. Prema spomenutoj hipotezi teozinte (**Beadle** 1939., 1972.) klip kukuruza razvio se iz klasića, dakle ženskog cvata teozinte (**Galinat** 1983., 1985.), a prema teoriji spolne transmutacije (CSTT – *catastrophic sexual transmutation theory*; **Iltis** 1983.; **Benz i Iltis** 1992.) klip kukuruza razvio se iz metlice lateralnog ogranka stabljike teozinte. **Iltis** (2000.) kombinira ove dvije teorije u novu teoriju spolne translokacije (STLT – *sexual translocation theory*). Kako se teorije o nastanku klipa iz muškog cvata teozinte nisu toliko istraživale, niti isticale u novijim istraživanjima, danas prevladava konsenzus o nastanku klipa iz ženskog cvata teozinte (**Beadle** 1980.; **Galinat** 1992.). CSTT teorija je, unatoč generalnom odbacivanju, potaknula mnogobrojne rasprave i istraživanja o transformaciji i nastanku klipa kukuruza.

Pri razmatranju domestikacije i širenja kukuruza često je u obzir uzeta samo postavka da su se teozinta i rani kukuruz koristili za zrno. Međutim, neki autori u okviru ove tematike predlažu i drugačije namjene. **Iltis** (2000., 2006.) navodi kako su mlade stabljike biljaka iz roda *Zea* od davnih vremena do danas korištene kao izvor šećera. Mlade biljke u srži svoje stabljike sadrže više šećera koji se kasnije sazrijevanjem biljke premješta u zrno. Mnogi ostatci prožvakanih dijelova biljaka (eng. *quid*) sirka, šećerne trske, teozinte i kukuruza nađeni su na raznim arheološkim lokacijama (**Mangelsdorf i sur.** 1967.; **Mangelsdorf** 1974.). Na isti način mogla se koristiti i komušina ili čak i zeleni klasić teozinte i mladi klip kukuruza. **Smalley i Blake** (2003.) proširuju ova istraživanja navodeći kako je teozinta u ranim fazama domestikacije bila ključni

izvor šećera za mnoge namjene uključujući i proizvodnju alkoholnih pića. Ova istraživanja nisu se šire razmatrala, ali i dalje zvuče logično i mogla bi pružiti dodatne informacije o domestikaciji i širenju kukuruza. Isto tako, neki autori navode kako je moguće da je kukuruzna snijet (*Ustilago maydis*; u španjolskom jeziku koristi se nahuatlanski naziv *huitlacoche*) imala određenu ulogu u domestikaciji kukuruza jer se u regiji Mezoamerike snijet već dugo vremena koristi kao namirnica u ljudskoj prehrani (**Munkacsí i sur.** 2008.; **Martínez-Soriano i Aviña-Padilla** 2009.), ali ova hipoteza – iako logična i zanimljiva – također se nije detaljnije razrađivala.

Novija istraživanja o podrijetlu i evoluciji kukuruza

Na kraju ovoga dijela navode se još neka novija istraživanja, ponajviše u genetici i genomici, koja su doprinijela boljem razumijevanju i rasvjetljivanju složene tematike podrijetla i širenja kukuruza. Skupina autora (**Vigoroux i sur.** 2008.) provela je opsežno istraživanje o populacijskoj strukturi i genetičkoj različitosti rasa (eng. *races*) kukuruza Novoga svijeta. Koristili su 945 uzoraka koji su obuhvaćali distribuciju kukuruza u obje Amerike u predkolumbovsko vrijeme, a to je uključivalo 310 različitih tipova ili populacija, dakle gotovo sve do tada opisane rase kukuruza. Istražujući genski tok između kukuruza i teozinte **van Heerwaarden i sur.** (2012.) naglašavaju važnost genetičkih metoda pri istraživanju domestikacije kukuruza. **Hufford i sur.** (2012.a) objavljuju pregled populacijske i ekološke genomike teozinte kroz dostignuća u istraživanjima domestikacije i adaptacije te navode buduće pravce u korištenju genetičkih resursa kukuruza. Kako bi utvrdili kako je domestikacija utjecala na transkriptom kukuruza **Swanson-Wagner i sur.** (2012.) uspoređivali su razine ekspresije gena kod teozinte i kukuruza. Osim utvrđenih promjena na transkriptomu nakon domestikacije naglasili su kako kombinirano istraživanje ekspresije gena i populacijske genetike može donijeti i važne dodatne informacije. **Flint-Garcia** (2013.) navodi prednosti korištenja genetičkih i genomskih metoda u istraživanju domestikacije kulturnog bilja, stavljajući naglasak na kukuruz kao studiju slučaja (eng. *case study*) posebne važnosti. Korištenjem genomskih istraživanja utvrđeno je kako je pri domestikaciji kukuruza umjetna selekcija utjecala na otprilike 1000 - 1200 gena, što iznosi 2 - 4 % ukupnih gena kukuruza (**Wright i sur.** 2005.; **Yamasaki i sur.** 2007.; **Hufford i sur.** 2012.b).

Kako bi što bolje razumjeli širenje kukuruza izvan Amerike skupina autora (**Mir i sur.** 2013.) provela je također vrlo opsežno istraživanje koristeći 799 uzoraka – 258 iz Amerike, 237 iz Afrike, 13 iz Bliskog Istoka, 148 iz Europe i 143 iz Azije – koji su zapravo obuhvaćali veliki dio cijele globalne kolekcije *landrace* kultivara. Cilj istraživanja bio je utvrditi koliki je udio američke germplazme u genetičkom materijalu kukuruza na drugim kontinentima kako bi se bolje rasvijetlila njegova distribucija izvan Amerike. Prema tim rezultatima predložili su i hipotetičku rekonstrukciju glavnih puteva kojima je kukuruz introduciran iz Amerike u druge dijelove svijeta (primjerice sjeverni američki tvrduci introducirani su u središnju i sjevernu Europu, tipovi iz meksičkog pobrđa u jugoistočnu Aziju i dalje na sjever i slično).

Domestikacija kukuruza proces je koji traje tisućama godina. Sve promjene koje je kukuruz doživio u svome razvoju dovele su do brojnih istraživanja, a posljedično i do statusa kukuruza kao *biljke modela* (eng. *model plant* ili *model organism*), uz pomoć koje se provode mnogobrojna multidisciplinarna istraživanja na drugim kulturnim biljkama (**Hake i Ross-Ibarra** 2015.; **Nannas i Dawe** 2015.). Kada se razmatraju istraživanja biologije ili domestikacije neke kulture, danas je praktički nezamislivo ne uključiti metode kojima se generiraju vrijedni genetički i genomički podaci (niz mnogih novijih genetičkih i genomičkih metoda već se rutinski prakticira u znanstvenim istraživanjima). Mnogi stariji rezultati mogu se upotrijebiti (ili čak i potpuno zamijeniti) novima koji su prikupljeni novim metodama. Kada je primjerice poznati arheološki ostatak, oklasak primitivnog kukuruza pod nazivom *Tehuacan 162* (**MacNeish i sur.** 1972.), zajedno s novim uzorcima podvrgnut genetičkim i genomičkim istraživanjima, stečene su neke nove spoznaje o samom procesu domestikacije (**Ramos-Madrigal i sur.** 2016.; **Vallebueno-Estrada i sur.** 2016.). Kao i u slučaju drevnog kukuruza iz doline Tehuacan, mnoge druge studije koristile su tehnologiju tzv. *drevne DNK* (eng. *ancient DNA*) za istraživanja podrijetla, domestikacije i adaptacije kukuruza – **Jaenicke-Després i sur.** (2003.) analizirali su tri gena povezana s genetičkim razlikama između kukuruza i teozinte (*tb1*, *pb1* i *su1*) kako bi utvrdili koji su aleli bili favorizirani umjetnom selekcijom; **da Fonseca i sur.** (2015.) razmatrali su podrijetlo i razvoj kukuruza na jugoistoku SAD-a; **Swarts i sur.** (2017.) također su procjenjivali dinamiku okolin-ske adaptacije kukuruza u uvjetima jugoistočnog dijela SAD. Općenito, vezano uz širenje i razvoj domesticiranih biljaka i životinja (i naravno čovjeka), u zadnjih 10-ak godina korištenje tehnologije drevne DNK dobilo je veliki zamah,

kada je uvođenjem novih tehnika omogućeno generiranje velikog broja podataka iz sve većih genomskih regija (eng. *whole-genome data*). Ova revolucija omogućila je vrlo precizno gledanje u prošlost i uputila ozbiljan izazov (ili prijateljsku ruku suradnje, kako se uzme) dosadašnjim arheološkim, povijesnim i antropološkim pogledima na svijet (**Reich** 2018.). Što je tehnologija istraživanja kompleksnija (i preciznija), manje prostora ostaje za spekulacije i pretpostavke, a vjerojatnost pronalaska čvršćih dokaza postaje sve veća. Na ovim postavkama – istraživanje, prikupljanje dokaza, stvaranje općeg konsenzusa o čovjeku i svijetu – zasniva se uostalom i razvoj civilizacije i društvenog blagostanja koje nikada u povijesti nije bilo veće, unatoč tome što se mnogima od nas čini drugačije (**Pinker** 2018.; **Rosling i sur.** 2018.).

Kukuruz je izvorno tropska biljka, a širenjem iz centra podrijetla pokrenut je proces njegove adaptacije područjima umjerene klime. Nove genetičke i genomike studije doprinijele su puno preciznijem utvrđivanju pravaca širenja i adaptacije kukuruza (**Hufford** 2016.; **Brandenburg i sur.** 2017.; **Lorant i sur.** 2020.). Isto tako, mnoga istraživanja pokušala su utvrditi kada je kukuruz postao osnovna hrana ili osnovna žitarica (eng. *staple food* ili *staple grain*) u pojedinim regijama, što predstavlja važnu informaciju, kako za širenje kukuruza, tako i za razumijevanje demografije i rasprostranjenosti populacija ljudi na određenim prostorima i u prijašnjim vremenskim razdobljima. **Kennett i sur.** (2020.) navode kako je u Srednjoj Americi (današnji Belize) bilo populacija koje su bile dovoljno produktivne da je kukuruz mogao biti osnovna žitarica (> 70 % cijele prehrane) u tome području već prije oko 4000 godina. Slične rezultate navodi skupina autora (**Kennett i sur.** 2017.) koji su utvrdili kako su domesticirane populacije kukuruza u Srednjoj Americi mogle postati osnovna žitarica, odnosno primarni izvor ugljikohidrata prije oko 4300 godina. Prema **Rosenwig i sur.** (2015.) kukuruz se u Srednjoj Americi nije počeo intenzivno proizvoditi prije najmanje 3000 godina.

Baza podataka *Ancient Maize Map* predstavlja vrijedan izvor podataka u istraživanjima o podrijetlu i širenju kukuruza. U ovu bazu unose se podatci o pronađenim i potvrđenim uzorcima prikupljenima na raznim lokacijama diljem Sjeverne, Srednje i Južne Amerike. Uzorci se precizno datiraju, a novi podatci sve više upotpunjavaju sliku domestikacije kukuruza u Americi od davnih vremena pa sve do danas. Vremenska ljestvica na samoj karti ima raspon od preko 8000 godina u prošlosti do 500 godina prije sadašnjosti.

Mnogi istraživači sudjelovali su u razvoju istraživanja i stvaranju spoznaja o podrijetlu kukuruza, od ranijih istaknutih istraživača poput Mangelsdorfa i Beadlea sa svojim osnovnim teorijama o kojima se još i danas diskutira, do najnovijih istraživača koji se služe najmodernijim dostupnim metodama otkrivajući nove, nepoznate detalje i nadograđujući tako baze podataka i priču o podrijetlu ove važne kulture. Iako se to – kao i u mnogim drugim aspektima društvenog djelovanja – često prakticira, dosta je teško, praktički nemoguće, uspoređivati stare i nove istraživače jer se znanstvena metodologija i tehnološke mogućnosti danas ne mogu staviti u isti kontekst s prijašnjim razdobljima. Međutim, u ovome važnom istraživačkom području jedno ime možda se ipak može istaknuti više u odnosu na druge, a to je **John Doebley** sa Sveučilišta u Wisconsinu. Ovaj znanstvenik objavio je veliki broj istraživanja vezanih uz podrijetlo kukuruza, a znanstvena karijera traje mu praktički od kraja sedamdesetih godina prošloga stoljeća pa sve do danas iako je već neko vrijeme u mirovini (nešto više o njemu navedeno je u idućem poglavlju).

Ovdje je naveden pregled nekih važnih institucija koje su se bavile istraživanjem podrijetla i širenja kukuruza, a u zagradama su navedeni i pripadajući znanstvenici: *Harvard University*, Cambridge, Massachusetts, SAD (Paul C. Mangelsdorf, Walton C. Galinat); *Stanford University*, California, SAD (George Beadle); *University of Michigan*, Ann Arbor, SAD (Kent Flannery); *University of Kentucky*, Lexington, SAD (John E. Staller); *Texas Wesleyan University*, Ft. Worth, Texas, SAD (Bruce F. Benz); *University of Wisconsin-Madison*, Wisconsin, SAD (Hugh H. Iltis, John F. Doebley, Yves Vigoroux, Yoshihiro Matsuoka); *University of British Columbia*, Vancouver, Kanada (Michael Blake); *Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology*, Leipzig, Njemačka (Viviane Jaenicke-Després); *National Museum of Natural History*, Smithsonian Institution, W.D.C., SAD (Dolores Piperno, Bruce D. Smith, Logan Kistler); *University of South Florida*, Tampa, Florida, SAD (Robert H. Tykot); *Iowa State University*, Ames, Iowa, SAD (Matthew Hufford); *University of Missouri*, Columbia, SAD (Michael D. McMullen, Masanori Yamasaki); *University of California-Davis*, California, SAD (Jeffrey Ross-Ibarra, Anne Lorant); *University of California-Berkeley*, California, SAD (Sarah Hake); *University of California-Irvine*, California, SAD (Brandon Gaut, Jeffrey Ross-Ibarra); *University of Minnesota*, St. Paul (John Doebley, Jane Dorweiler); *National Research Institute for Agriculture, Food and Environment* (INRAE), Francuska i *French National Centre for Scientific Research*

(CNRS), Francuska (Alain Charcosset, Maud Tenaillon); *Pennsylvania State University*, SAD (Douglas J. Kennett); *U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service*, Columbia, Missouri, SAD (Sherry Flint-Garcia, Edward S. Buckler); *University of Massachusetts-Amherst* (Walton Galinat); *Purdue University*, W. Lafayette, Indiana, SAD (Jeff Bennetzen); *University of Arizona*, Tucson (Jane Dorweiler); *Cornell University*, Ithaca, New York, SAD (Edward S. Buckler, Kelly Swarts) i mnogi drugi. Neke od ovih institucija također su navedene u idućem poglavlju u dijelu *Istraživanja u genetici i oplemenjivanju kukuruza*. Pregledom znanstvene djelatnosti istraživača utvrđeno je kako su neki od njih u svome znanstvenom radu sudjelovali na više od jedne institucije pa su iz toga razloga navedeni dva puta.



Slika 76. Razne miješane populacije podrijetlom iz Hrvatske, Meksika i SAD-a. Kako je vidljivo na ovoj i na mnogim drugim slikama, velika raznolikost kukuruza ponajviše se primjećuje kroz boju zrna.

Kako je već navedeno ranije u ovome poglavlju, tijekom istraživanja podrijetla kukuruza bilo je potpuno ili djelomično pogrešnih postavki, zaključaka i teorija (primjerice trodijelna teorija, nastanak kukuruza iz divljeg kukuruza ili križanca teozinte i *Tripsacuma* ili još puno više unatrag do teorija o azijskom podrijetlu), ali sve naprednija metodologija i tehnike istraživanja omogućili su

stvaranje puno novih informacija i zaključaka koje je bilo vrlo teško opovrgnuti. U prošlosti je puno istraživanja ovisilo o arheološkim i mnogim drugim neizravnim dokazima, čime se u konačnici nije mogla stvoriti potpuna slika neke pojave. Kada se pogledaju teorije o podrijetlu kukuruza koje su se još uvijek uvažavale prije samo 50 - 60 godina, razlika u odnosu na sadašnjost je drastična. Uz genetička i genomička istraživanja, dijelovi mozaika o podrijetlu kukuruza danas su daleko potpuniji nego ikada prije, iako još uvijek ima zagovornika starih teorija poput onih o divljem kukuruzu ili višestrukim centrima podrijetla (**Bonavia** 2013.). **Blake** (2015.) navodi kako se zahvaljujući naporima mnogih botaničara, genetičara i ostalih istraživača može napraviti prilično pouzdana priča o evoluciji i širenju kukuruza te izdvaja pet važnih pitanja koja su do danas dobrim dijelom odgovorena:

1) *Gdje je započela domestikacija kukuruza?* – U području rijeke Balsas u Meksiku.

2) *Iz čega se kukuruz razvio?* – Iz teozinte podvrste *parviglumis*, uz nešto introgresije podvrste *mexicana*.

3) *Kada je započela prva značajnija selekcija kao rezultat ljudskog djelovanja?* – Prije otprilike 9000 godina.

4) *Koje su vrste promjena bile najznačajnije u procesu domestikacije?* – Građa pljevica, grananje, kvaliteta škroba i proteina i drugo.

5) *Kada i kako se kukuruz širio iz Amerike?* – Sjeverno u Sjeverni Meksiko i na jugoistok SAD-a i južno u južni Meksiko, Srednju Ameriku i dalje u Južnu Ameriku.

Jedno od najvažnijih pitanja na koje se ne može sasvim točno odgovoriti je kada je (i je li uopće) domestikacija kukuruza uopće završila. Rasvijetliti podrijetlo nekog usjeva znači prvo detektirati početak njegove domestikacije. Kada je po navedenim najvažnijim svojstvima teozinta postala kukuruz, taj primitivni kukuruz nastavio se mijenjati i razvijati opet u nešto novo. Dobar su primjer istraživanja koja su provodili **Kistler i sur.** (2018., 2020.) koja su potvrdila kako su populacije iz kojih se razvio kukuruz u Južnoj Americi done-sene iz Meksika u jugozapadni dio Amazonskog bazena, nakon čega su ostale izolirane od teozinte prije fiksacije domestikacijskih svojstava. To znači da se to područje može smatrati svojevrsnim sekundarnim ili uvjetnim centrom podrijetla (eng. *secondary improvement center*) djelomično domesticiranog kukuruza jer se iz tih originalnih populacija daljnjom diverzifikacijom razvilo

mnoštvo različitih tipova kukuruza u Južnoj Americi koji su se širili dalje. Dakle, autori su iznijeli izuzetno važnu teoriju tzv. postupne domestikacije (eng. *stratified domestication*) po kojoj se kukuruz nije potpuno domesticirao u Meksiku pa onda širio dalje, nego se napola domesticirani kukuruz već počeo kretati dalje prije nego što su glavna domestikacijska svojstva bila fiksirana u populacijama. Ogroman napredak u istraživanjima domestikacije kulturnog bilja u smislu velike dostupnosti istraživačkih resursa, novijih tehnika i tehnologija koje su omogućile transformaciju oplemenjivanja bilja u bioinženjering **Vaughan i sur.** (2007.) nazivaju *super-domestikacijom*.

Prelazak kukuruza iz primitivnog stanja u modernije također svrstavamo u proces domestikacije. Ako bismo pojednostavnili ovaj složeni proces, mogli bismo reći kako je iz teozinte nastao primitivni kukuruz, a iz njega moderni, ali onda se treba zapitati gdje završava primitivni kukuruz, a počinje moderni i koliko se još potencijalnih promjena (mutacija) krije unutar naizgled beskonačno raznolikog bazena gena kukuruzne germplazme. *Možemo stoga praktički zaključiti da jednim dijelom domestikacija kukuruza uopće nije ni završila, samo što smo u zadnjih 70 - 80 godina otkrićem i upotrebom hibridnog kukuruza razvoj kukuruzne germplazme vrlo intenzivno usmjerili u pravcu komercijalnih hibrida velikih, žutih klipova i visokih prinosa.* Iako je vrijeme od 50 ili 100 godina zapravo tek trenutak u povijesti, nije izgledno da će se pravac formiran upotrebom hibrida barem u neko skorije vrijeme bitno mijenjati.

Kada govorimo o samome vremenskom slijedu, teško je reći gdje završava domestikacija, a počinje oplemenjivanje. Ova dva dugotrajna procesa dobrim se dijelom preklapaju, mogli bi se čak tretirati i kao jedan kompleks jer je osnovni mehanizam koji pokreće oba procesa *umjetna selekcija*. Danas razlike između domestikacije i oplemenjivanja izgledaju vrlo očite. Domestikacija je proces udomaćivanja divljih biljaka, dok je oplemenjivanje vrlo specifična aktivnost dobivanja novih kultivara već udomaćenog bilja, ali kada se gleda kromologija kroz povijest, teško je povući jasnu granicu između kraja domestikacije i početka oplemenjivanja.

Jedan dio informacija vezan uz podrijetlo i širenje kukuruza osim u ovome poglavlju naveden je i u trećem poglavlju, odnosno u njegovom prvom (*Podjela germplazme*) i drugom dijelu (*Germplazma u Sjedinjenim Američkim Državama*).

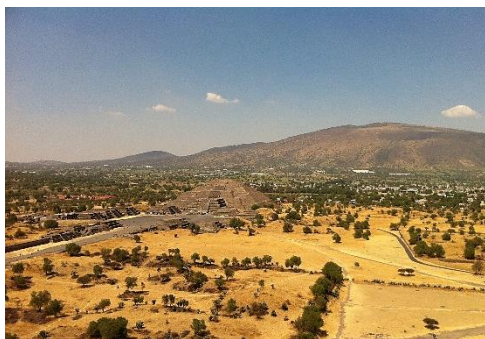


2.3. Kukuruz u Americi prije dolaska Europljana

Početak uzgoja kukuruza kao kulturne biljke nije sasvim poznat. Pretpostavlja se da se počeo domesticirati prije 6000 do 9000 godina na području današnjeg Meksika. **Barghoorn i sur.** (1954.) otkrili su fosilni pelud kukuruza u Meksiku (*Ciudad de México*) čija je starost procijenjena na najmanje 6000 godina, što se podudara s istraživanjima **Mangelsdorfa i Smitha** (1949.) koji su dokazali postojanje primitivnog uzgoja kukuruza na području New Mexica u razdoblju od 11. stoljeća sve do 4000 godina pr. Krista. Istraživanja **Matsuo i sur.** (2002.) pokazala su da je domestikacija kukuruza započela u južnom Meksiku prije oko 9000 godina iz podvrste *Zea mays parviglumis* te da se kukuruz iz toga područja širio u dva glavna pravca. Prvi pravac išao je preko zapadnog i sjevernog Meksika prema jugozapadnom, a onda i prema istočnom dijelu Sjedinjenih Država i prema Kanadi, dok je drugi pravac išao preko zapadnog i južnog Meksika preko Guatemale, Kariba, ravnica Južne Amerike i konačno do Anda. Provedena su mnoga istraživanja kako bi se rasvijetlilo podrijetlo i širenje kukuruza, što je navedeno u prethodnom dijelu ovoga poglavlja.

Razvojem znanstvene misli, uključivanjem više istraživača i prikupljanjem mnogih novijih dokaza o naseljavanju Amerike i američkim civilizacijama u vremenu prije 15. stoljeća (**Denevan** 1992.; **Mann** 2005.), vremenom se počela stvarati novija povijesna slika kultura drevne Amerike, u smislu njihove starosti, ali i razvijenosti. Unatoč ustaljenoj predodžbi pomoću koje zamišljamo te specifične kulture, izgledno je da civilizacije tzv. Novoga svijeta nisu bile manje razvijene od starih civilizacija drugdje u svijetu. Brojnost populacije američkog stanovništva bila je znatno viša nego što se nekada smatralo, a naselja veća i brojnija. Prema procjenama **Dobynsa** (1966.) populacija Amerike prije dolaska Europljana iznosila je od 90 do 112 milijuna ljudi, što je u ono vrijeme premašivalo populaciju Europe. **Llamas i sur.** (2016.) istraživali su dolazak prvih prastanovnika Amerike te zaključili kako su originalne populacije (eng. *founder lineages*) koje više nisu bile pomiješane sa sibirskim populacijama započele širenje po američkom kontinentu s područja današnje Aljaske prema jugu prije oko 18 400 godina, dok se veća populacijska ekspanzija dogodila prije oko 16 000 godina, vjerojatno zbog povlačenja ledenog pokriva. Vezano uz ovakva i slična otkrića, moguće je da je domestikacija kukuruza počela ranije nego što se mislilo te da je kukuruz ranije postao kulturna

biljka. Na važnost i veličinu američkih civilizacija – a time i na važnost kukuruza kao jednog od primarnih izvora hrane u mnogim američkim regijama – ukazuje i veličanstvenost drevnih megalopolisa stare Amerike. Astečka prijestolnica Tenochtitlan početkom 16. stoljeća imala je preko 200 000 stanovnika (**Smith** 2005.), misteriozni Teotihuacan je od oko 4. stoljeća nadalje imao preko 100 000 stanovnika (**Cowgill** 1997.), a Cuzco, središte Carstva Inka, u 15. stoljeću imao je oko 300 000 stanovnika (**Bourbon i sur.** 1998.), što ih je svrstavalo među najveće gradove svijeta.



Slike 78 - 79. Teotihuacan (Mjesečeva piramida; lijevo) i Cuzco (pogled na grad i glavni trg) (Domagoj Šimić).

Uzgoj kukuruza i ostalih kultura u davnim vremenima bio je usmjeren na održivo gospodarenje zemljom i, ako već ne potpuno očuvanje, barem održavanje okoliša onakvim kakav jest. Narodi starih civilizacija bili su daleko više u dodiru s prirodom te su prema tome i osmislili mnoge napredne i vrlo učinkovite načine uzgoja poljoprivrednih kultura, od kojih se mnogi (ili njihove inačice) koriste još i danas. Primjeri ovakvih inovativnih rješenja u proizvodnji kulturnog bilja svakako su naizmjenično korištena održiva polja (*milpa*) kod Maya, vodeni vrtovi (*chinampa**) kod Azteca i terase (*teraza**) kod Inca.

* *Specifične riječi koje se ne koriste redovno u hrvatskom jeziku, poput chinampa, terraza ili kasnije u tekstu imena mjesta poput Tenochtitlan ili Xochimilco ostavljene su u originalu (u standardnom hrvatskom jeziku za Mexico ćemo reći Meksiko i za Chile ćemo reći Čile, ali kod manje korištenih riječi koristiti nazive poput činampa, Šočimilko ili Tenočtitlan izgleda nezgrapno i nije u duhu jezika u kojemu su te riječi nastale). U hrvatskom jeziku postoji konsenzus za korištenje hrvatskih verzija poznatih osoba, gradova i država (npr. Aleksandar Veliki, Julije Cezar, Peking, Kostarika), kao i za korištenje originalnih naziva imena i mjesta (npr. Albert Einstein, Charles Darwin, Chicago, Sydney). Sve strane pojmove u ovoj knjizi pokušao sam svrstati u pravu kategoriju kako se ne bi kvario doživljaj čitanja.*

Riječ *milpa* u Mezoamerici* označava polje ili polje kukuruza, jer je na velikom broju polja u tome području dominirao upravo kukuruz. Riječ je o specifičnim poljima koja nastaju krčenjem nekog prirodnog staništa koje se određenim aktivnostima (sječa, krčenje i paljenje grmlja, drveća i slično) pretvara u zemljište za uzgoj, uglavnom kukuruza, graha i bundeva, ali i drugih kultura poput avokada, rajčice, čili paprike, batata i mnogih drugih, u današnje vrijeme čak i banana koje nisu autohtona kultura u Americi. Inače, tri glavna usjeva (kukuruz, grah, bundeva) u mnogim starijim kulturama Sjeverne i Srednje Amerike nazivala su se *tri sestre* (eng. *three sisters*) (Landon 2008.), jer su se često uzgajale zajedno na istom polju – kukuruz je osiguravao ugljikohidrate i ulje, grah bjelančevine (esencijalne aminokiseline), a bundeva razne vitamine. U ovakvom zajedničkom načinu uzgoja ove tri kulture svaka na više načina podržava ostale, a samim time i cijelu mikrookolinu *milpe* (primjerice stabljika kukuruza služi kao potpora za penjanje i rast stabljici graha, korijenje graha kao leguminoze sadrži kvržične bakterije koje omogućuju usvajanje atmosferskog dušika u tlo, dok bundeve koje rastu širom po tlu dobrim dijelom pokrivaju tlo, zadržavaju vlagu u tlu, u većoj mjeri onemogućuju razvoj korova te sprječavaju eroziju).



Slika 80. Uzgoj usjeva u milpa sustavu: tri glavne kulture, tzv. tri sestre – kukuruz, bundeva i grah. Za naše europske pojmove bavljenja poljoprivredom milpa na prvi pogled djeluje manje ili više neuredno, kao polje kukuruza zaraslo u korov, no kao što i sama priroda često ne izgleda uredno, ali je vrlo učinkovita, tako je i američkim poljoprivrednicima ovakav način uzgoja bio vrlo prihvatljiv, pogodan i svrhovit (autorica: Isabelle Fragniere, preuzeto sa stranice Wikimedia Commons). Na našim prostorima ljudi su također u raznim kombinacijama uzgajali ove usjeve, a neki to i danas rade, iako u modernim vremenima ovakav zajednički uzgoj puno više karakterizira razne alternativne opcije proizvodnje poput ekološke poljoprivrede.

* Mezoamerika (eng. Mesoamerica) je drevna geografska regija koja se prostirala na području današnjega Meksika, Belizea, Gvatemale, Salvadora, Hondurasa, Nikaragve i dijela Kostarike.

Način korištenja zemljišta u *milpa* sustavu podrazumijevao je kultivaciju zemlje i uzgoj glavnih usjeva 2 - 3 godine, nakon čega se na toj površini 8 - 10 godina uzgajalo voćne vrste, grmlje i drveće. Za to vrijeme, nova *milpa* pravila se na drugom mjestu pogodnom za prenamjenu i uzgoj glavnih usjeva. Prema mnogim autorima (**Nigh** 1976.; **De Frece i Poole** 2008.) *milpa* označava ne samo polje ili način uzgoja usjeva, nego i cijeli socijalni i kulturni kompleks koji se očitovao kroz društveni život zajednice, složenu interakciju između ljudi (farmera) te jaku vezu s prijašnjim, ali i modernim religijskim konceptima. Kroz *milpu* – polje koje daje život – se odvijao život zajednice, a glavni preduvjet za to bila je jaka povezanost ljudi s prirodom, koji su je doživljavali kao majku i hraniteljicu. U istraživanju o značenju pojma *milpa* **Rodríguez-Robayo i sur.** (2020.) navode pet glavnih skupina čimbenika koje pojedinačno, ali i zajedno definiraju ono što *milpa* predstavlja u društvu: 1) poljoprivredne aktivnosti, 2) poljoprivredne aktivnosti i društveno-kulturni aspekti, 3) poljoprivredne aktivnosti i okolinski aspekti, 4) poljoprivredne aktivnosti i ekonomski aspekti, 5) poljoprivredne aktivnosti integrirane s dva ili tri navedena aspekta. Isti autori opisuju *milpu* kao okosnicu majanske kulture, složeni društveno-ekonomski sustav koji uključuje raznolikost poljoprivrednih kultura s kukuruzom, grahom i bundevama kao osnovom te predstavlja specifični tradicionalni izvor znanja o sigurnosti hrane. Razni autori opisuju *milpu* na drugačije načine, ali pet gore navedenih kategorija (bolje rečeno njihove brojne kombinacije) najčešće se javljaju pri definiranju značenja ovoga važnog pojma.

Slični načini gospodarenja u poljoprivredi mogu se vidjeti i u drugim dijelovima svijeta. *Milpa* je zapravo varijanta poljoprivrednog sustava koji se prakticira od drevnih vremena pod raznim nazivima (eng. *swidden, slash-and-burn agriculture, shifting cultivation*; ban. *jhum*) (**Cornell** 2007.; **Mertz i sur.** 2009.; **van Vliet i sur.** 2012.). Povijesno gledano, ovakav način bavljenja poljoprivredom bio je zastupljen u mnogim regijama svijeta, uključujući Europu i Sjevernu Ameriku, dok su danas takvi sustavi ograničeni uglavnom na dijelove Srednje i Južne Amerike te jugoistočnu Aziju (**Li i sur.** 2014.). Prema nekim procjenama u današnje vrijeme 200 - 500 milijuna ljudi u svijetu prakticira neku varijantu ovoga, može se reći primitivnijeg načina gospodarenja zemljom i usjevima. U poljoprivredi razvijenih zemalja ovaj način uzgajanja usjeva vremenom je postao previše trom i neučinkovit po pitanju proizvodnih

količina, što je utjecalo na smanjivanje, a vremenom i potpuno napuštanje sličnih tradicija te uvjetovalo prelazak na produktivnije i gospodarski isplativije tehnologije proizvodnje.



Slika 81. Kultura Huastec iz obalnog područja Meksičkog zaljeva; muškarci rade u polju, a žene prave brašno i jela od kukuruza (autor: Diego Rivera, preuzeto sa stranice Wikiart).

Chinampa sustav odnosi se na poseban način uzgoja poljoprivrednih usjeva, odnosno specifične vodene vrtove tipične za područje Meksičke doline (špa. *Valle de México*). Na tim prostorima, koji su obuhvaćali šire područje današnjeg meksičkog glavnog grada, vrhunac su doživjele neke od najvećih kultura stare Mezoamerike, kao što su primjerice Toltec, Teotihuacan i Aztec. *Chinampa* (množina *chinampas*) izgleda kao manja ili veća mreža kanala koji presijecaju manje ili veće površine tla na kojima se uzgajaju razni usjevi. To su umjetne tvorevine jer se zemljani dijelovi posebno izgrađuju nanošenjem zemlje, granja i ostalih materijala, a onda se između njih pušta voda, koja se regulira sustavom brana. Često se pogrešno nazivaju *plutajući vrtovi* (eng. *floating gardens*), jer ti komadi zemlje izgledaju kao otoci pravilnog oblika unutar nekog velikog jezera. Danas mnogi od originalnih *chinampa* kanala služe kao turističke atrakcije s mnogobrojnim obilascima pri kojima se okolina razgledava izravno s brodova. Jedna od najpoznatijih lokacija svakako je *chinampa* Xochimilco s atraktivnom ponudom obilazaka i zabavnih sadržaja koji privlače turiste iz svih krajeva svijeta.



Slika 82. *Boot in den chinampas, uslikano 1912. godine (autor: Karl Weule, izvor: Karl Weule – Leitfaden der Voelkerkunde, Leipzig 1912, preuzeto sa stranice Wikimedia Commons).*



Slika 83. Središte Astečkog carstva u prvoj polovini 16. stoljeća. Meksička dolina (eng. Valley of Mexico) otprilike odgovara širem području današnjeg Mexico Cityja. Na karti se vide područja u kojima se prakticirala proizvodnja usjeva chinampa sustavom – oko tadašnjega glavnog grada Tenochtitlána i južno na jezerima Xochimilco i Chalco te na sjeveru u području jezera Zumpango i Xaltocan (preuzeto iz **Staller** 2010., Fig. 2.15., p. 39). Isto tako, na karti su naznačene i ostale vodene površine pod boćatom (brackish water) i slatkom vodom (fresh water), kao i močvare (marshes).



Slika 84. Veličanstvena astečka prijestolnica Tenochtitlán izazvala je divljenje i strahopoštovanje Europljana koji u tome dijelu svijeta nisu očekivali tako razvijenu civilizaciju, raznovrsne kulture i velike gradove (mural na Nacionalnoj palači u Mexico Cityju naslikan 1945. godine; autor: Diego Rivera, La gran Tenochtitlán, preuzeto sa stranice Wikimedia Commons).



Slika 85. Pogled iz čamca pri obilasku kanala za navodnjavanje, karakteristični izgled chinampa vrta, Xochimilco, Meksiko (Domagoj Šimić).

Sličan *chinampa* sustavu je i sustav proizvodnje usjeva pod nazivom *waru waru* (poznat još pod nazivima *suqakollo* i *camellones*), nastao u sjevernom dijelu Anda u Južnoj Americi (Peru, Bolivija, Kolumbija), a koji je uključivao podignuta zemljišta za uzgoj usjeva između kojih su bili kanali za navodnjavanje (Janusek i Kolata 2004.).



Slika 86. Polja za uzgoj usjeva u podnožju brda u današnje vrijeme i ostatci nekadašnjih terasa na padinama, Peru (Domagoj Šimić).

Osim *milpa* i *chinampa* sustava u Mezoamerici još jedan poseban sustav proizvodnje usjeva razvio se u Andama, a to je proizvodnja uz pomoć **terasa** (špa. *terrazza* ili *andén*). Kako su ta područja bila vrlo brdovita do planinska, uz puno

strmih terena i malo velikih obradivih površina, uzgajivači poljoprivrednih kultura na brdskim padinama stvarali su terase s plodnom zemljom na kojima su uzgajali kukuruz, krumpir, kvinoju i ostale usjeve. Terasa su bile ograđene kamenim zidovima zbog sprječavanja erozije, a sustavom kanala dobivale su potrebnu vodu. Nakon što bi se izgradilo više terasa u nizu, one su poprimale izgled ogromnih stepenica usječenih u padine brda (**Wright i sur.** 1997.; **García** 2004.). Neke od najslavnijih terasa mogu se vidjeti i danas kao turistička atrakcija na jednoj od najpoznatijih lokacija obiju Amerika, ali i svijeta, a to je citadela Inka iz 15. stoljeća, Machu Picchu.



***Slike 87 - 88.** Vijugava cesta u čileanskim Andama daje naslutiti zapravo jedini način na koji se ovakve ogromne strmine mogu savladati, a to je gradnjom korak po korak. Na sličan način su pravljene i terase za uzgoj kukuruza, izabrao bi se jedan dio padine na kojemu je onda pravljena terasa, kao što je ovdje postupno pravljena svaka etapa ceste (čak i svaki dio ceste između dvije serpentine podsjeća na malu usku visoravan). Desno od ceste vidi se planinski potok – ovakvim potocima spušta se voda koja nastaje topljenjem snijega i leda na višim dijelovima planinskog lanca. U prijašnja vremena voda se sustavom kanala mogla dovesti do željene terase za uzgoj.*

Kao i kod mnogih drugih poljoprivrednih sustava čije su se varijante prakticirale na raznim stranama svijeta, slični tipovi terasa za uzgoj ratarskih i povrtnih kultura mogu se naći osim u Južnoj Americi i u drugim dijelovima svijeta (južna i istočna Azija, Srednja Amerika, Mediteran, srednja Europa, sjeverna i istočna Afrika) (**Blossiers Pinedo i sur.** 2000.).



Slika 89. Tipični krajolik u Peruu, doline na visoravnima između padina Anda u kojima se stanovništvo bavi uzgojem tipičnih kultura poput krumpira, bundeve, graha, paprike, kukuruza, batata, kvinoje i kikirikija (Domagoj Šimić).



Slika 90. Osim uzgojem biljnih vrsta narodi Anda bavili su se i uzgojem goveda i tipičnih životinja iz porodice deva (lat. Camelidae) poput ljame, alpake, gvanaka i vikunje. Prema **Smithu** (2017.) ljama i alpaka domesticirane su u Peruu prije oko 5000 godina (na slici je alpaka, Čile).

2.4. Introdokcija i širenje kukuruza u Starom svijetu

Povratkom prvih brodova natrag iz Amerike u Europu krajem 15. stoljeća započela je introdokcija kukuruza u Stari svijet. Iako se tada tako nešto nije moglo ni pretpostaviti, kukuruz je vremenom postao najvažnija žitarica i jedna od najviše proizvođenih kultura u svijetu. No, nakon introdokcije tek se puno kasnije, nakon adaptacije umjerenim klimatskim zonama, počeo koristiti kao ratarska kultura. Mnogi autori pokušali su točnije odrediti područja uzgoja kukuruza u svijetu, od kojih su mnoga u Euroaziji: dolina Dunava (jugozapadna Njemačka, Mađarska, Hrvatska, Srbija, Rumunjska), dolina rijeke Po (Italija), ravnice sjeverne Kine i druga. Neka od važnijih područja za uzgoj kukuruza u svijetu su još i sjeveroistočna Argentina i jugoistočni Brazil. Neki su autori po uzoru na američki Kukuruzni pojas (eng. *Corn Belt*) neka uzgojna područja u Europi nazvali Europski kukuruzni pojas (eng. *European Corn Belt*) (**Brandolini** 1969.), a u struci se spominje i Istočnoeuropski kukuruzni pojas koji obuhvaća Ukrajinu, Rumunjsku, Mađarsku, Srbiju, Hrvatsku, Bugarsku, Slovačku, Češku, Bosnu i Hercegovinu. **Leng i sur.** (1962.) navode jugoistočnu Europu (sjeverna Italija, središnja i južna Mađarska, sjeverna, središnja i istočna Jugoslavija i gotovo cijela Rumunjska) kao najvažnije uzgojno područje kukuruza na svijetu nakon američkog Kukuruznog pojasa.

Kada se govori o teorijama, od kojih su mnoge – kao primjerice teorija o američkom podrijetlu kukuruza – s vremenom iz hipoteze prerasle u činjenicu, neke teorije govore kako je kukuruz pronašao svoj put do Staroga svijeta davno prije nego što je Kolumbo stupio na američko tlo. Izvješća o kukuruzu u Egiptu, Indiji, Kini i drugim regijama Staroga svijeta još i danas se mogu pronaći u literaturi. Ipak, premda zbog potrebe znanstvene kritičnosti i objektivnosti ništa ne treba olako odbacivati, ovakve hipoteze nude informacije uglavnom iz disciplina poput lingvistike, etnologije i sličnih područja, iz znanstveno nepotvrđenih izvora ili čak umjetničkih prikaza (kipovi, slike) kukuruza ili nečega što slični kukuruzu. Prema tome, ne treba ih uzimati zdravo za gotovo, nepotvrđene su od strane znanstvene zajednice iz razloga što za njih nema dovoljno dobrih (ili bilo kakvih) dokaza, a i uzevši u obzir ogromnu materiju i mnoštvo novih (logičnih i potvrđenih) informacija u istraživanju kukuruza, takva izvješća brojčano su daleko nadjačana od strane puno čvršćih dokaza pa se posljedično sve rjeđe pojavljuju.

Europa

Nakon velikih geografskih otkrića kukuruz je krajem 15. stoljeća introduciran u Europu, a proces se ubrzano nastavio i u 16. stoljeću. Kako je kukuruz biljka tropskih predjela, Europljanima se ispočetka činila vrlo egzotičnom, bila im je to samo još jedna nova, egzotična biljka uvezena iz dalekih i nepoznatih krajeva, za koje su mnogi još uvijek mislili da se nalaze u Aziji. Tako je kukuruz u početku služio kao ukrasna biljka u europskim vrtovima, a tek kasnije počeo se uzgajati kao ratarski usjev i komercijalno proizvoditi u poljoprivredi. Najveći proizvođači kukuruza u Europi danas su Ukrajina, Rumunjska, Francuska, Rusija, Italija, Mađarska i Srbija. Jedan od najranijih, ali i prvih značajnijih prikaza kukuruza u Europi objavljen je u knjizi njemačkog botaničara Leonharda Fuchsa iz 1542. godine, u kojoj on kukuruz naziva *turcicum frumentum* (tursko žito) (Weatherwax 1954.). Janick i Caneva (2005.) razmatraju najranije prikaze kukuruza u Europi te navode ukrase koje je naslikao Giovanni Martini da Udine na freskama Raphaela Sanzija na jednoj vili u Sieni između 1515. i 1517. godine, kao i prikaze kukuruza istoga autora na Vatikanskoj palači između 1517. i 1519. godine. Pismo koje je talijanski povjesničar Peter Martyr d'Anghiera poslao kardinalu Ascaniju Sforzi u kojemu mu najavljuje slanje kukuruza u Rim potvrđuje kako je kukuruz u Italiji bio već 1494. godine, samo dvije godine nakon službenog otkrića Amerike (d'Anghiera 1912.; Brandolini i Brandolini 2009.).

Kukuruz je u Europu stigao u vrijeme nekih važnih događanja koja su utjecala na daljnji razvoj europske civilizacije. Jedno od najvažnijih razdoblja u povijesti Europe svakako je **renesansa** koja je označila novi napredak i iskorak od srednjovjekovnog načina razmišljanja i djelovanja (srednji vijek službeno je završio 1492. godine, a razdoblje renesanse uglavnom se poklapa s 15. i 16. stoljećem). Neki od najistaknutijih znanstvenika, izumitelja, umjetnika i vizionara živjeli su u Europi, ponajprije Italiji, 16. stoljeća (Leonardo da Vinci, Nikola Kopernik, Michelangelo, Giordano Bruno, Galileo Galilei i mnogi drugi). Kukuruz je u Italiji postao poljoprivredna kultura otprilike u drugoj polovini 16. stoljeća (Mesedaglia 1924.), ali trebalo je proći još dosta vremena kako bi stekao veću važnost u smislu proizvodne količine. Levi (2014.) navodi kako je kukuruz imao dva vala širenja na sjeveru Italije (regija Piedmont), oko 1620. do 1630. godine te krajem 17. stoljeća. Iako su pravci širenja kukuruza u Europi relativno slabo dokumentirani, kako prostorno, tako i vremenski, neka

gruba slika govori nam kako je kukuruz u određenim europskim zemljama bio već početkom 16. stoljeća (**Finan 1948.**; **Brandolini 1970.**; **Gay 1999.**) i kako se određenim intenzitetom (ovisno o pristupačnosti pojedine regije za uzgoj) širio dalje*. Nakon početne introdukcije u toplije, mediteranske dijelove Europe u kojima je kukuruz mogao odmah nesmetano rasti, širenjem na sjever i istok počeo je proces njegove adaptacije na umjerena područja. Pri istraživanju kukuruza jugoistočne Europe **Leng i sur.** (1962.) zaključili su da na području jugoistočne Europe postoji barem 11 osnovnih rasa (eng. *racess*) kukuruza:

1. crnogorski tvrdunac (mali klip, sličan tipu s Anda *Amarillo de ocho*)
2. tvrdunci sitnog zrna (slični južnoameričkim bisernim kokičarima)
3. sjeverni osmoredni tvrdunac (vjerojatno izravno dobiven iz sjevernih tvrdunaca iz SAD-a)
4. mediteranski tvrdunac (relativno rijedak i manje sličan tipovima iz Amerike)
5. izvedeni tvrdunci (nastali križanjem različitih tipova tvrdunaca)
6. višeredni meki zuban (vjerojatno izravno introducirani iz južnih zubana iz SAD-a)
7. krupnozrni zuban (izravna introdukcija ili dobiven iz križanja zubana i osmorednih tvrdunaca)
8. rostrata zuban (vjerojatno dobiven iz južnih zubana iz SAD-a)
9. zuban Kukuruznog pojasa (*Corn Belt Dent*, izravna introdukcija iz SAD-a krajem 19. i početkom 20. stoljeća)
10. križanci tvrdunaca i zubana
11. moderni hibridi (introducirani nakon Drugog svjetskog rata).

Drugi autori također su u svojim istraživanjima pokušali klasificirati kukuruz u Europi. **Brandolini** (1969., 1970., 1971.), **Brandolini i Avila** (1971.) te **Pavličić** (1971.) predstavili su preliminarne klasifikacije rasa kukuruza za područje južne Europe i mediteranskog područja, dok su **Gerić i sur.** (1989.) napravili opsežnu genetičku analizu rasa kukuruza prikupljenih iz raznih dijelova bivše Jugoslavije. U svome istraživanju europske i američke germplazme **Rebourg i sur.** (2001.) izdvajaju pet glavnih skupina (tipova) europske germplazme:

* Uzevši u obzir vremenski slijed povijesnih događaja, nije teško zamisliti kako je primjerice Galileo Galilei, koji je živio u Pisi i Padovi, razmišljavši o konstrukciji teleskopa ili putanjama planeta oko Sunca, za ručak jeo upravo palentu od kukuruzne krupice.

- 1) njemački tvrdunac (*German flint*)
- 2) sjeveroistočni europski tvrdunac (*North-Eastern European flint*)
- 3) južnoeuropski tvrdunac (*Southern European flint*)
- 4) pirenejsko-galicijski tvrdunac (*Pyrenees-Galice flint*)
- 5) talijanski narančasti tvrdunac (*Italian orange flint*).

Početak 21. stoljeća nekoliko skupina autora također istražuje genetičku raznolikost kod europskih sorata i populacija kukuruza: **Gauthier i sur.** (2002.), **Rebourg i sur.** (2003.), **Revilla Temiño i sur.** (2003.) te **Dubreuil i sur.** (2006.). Naglašavajući dva glavna žarišta – jedno u zapadnoj, a drugo u središnjoj Europi – u koja je kukuruz u prošlosti bio introducirani **Tenaillon i Charcosset** (2011.) istražuju na koji način i u kojem je vremenu kukuruz stigao iz Amerike u Europu te na osnovu rezultata konstruiraju kartu (prema **Rebourg i sur.** 2003.; **Dubreuil i sur.** 2006. te **Vigoroux i sur.** 2008.) na kojoj se vide glavni migracijski putevi najvažnijih populacija između obiju Amerika, ali i između Amerika i Europe. **Mir i sur.** (2013.) navode kako su kukuruz koji je introducirani i proširen u Europi najvjerojatnije donijeli Francuzi, Španjolci i Portugalci u 16. stoljeću (sjeverni tvrdunci iz današnjeg sjevernog dijela SAD-a i južnog dijela Kanade te zubani iz središnjeg dijela Sjeverne Amerike što uglavnom odgovara današnjem području SAD-a).

Pri istraživanju introdukcije i širenja kukuruza u Italiji koje je uključivalo 562 primke prikupljene diljem Italije **Brandolini i Brandolini** (2009.) na osnovu razlika u 17 svojstava utvrdili su devet različitih skupina:

- 1) bijeli zubani (*White dents*)
- 2) biserno-bijeli tvrdunci (*Pearl white flints*)
- 3) insubrijski tvrdunci (*Insubrian flints*)
- 4) microsperma tvrdunci (*Microsperma flints*) (u ovu skupinu pripadaju poznate talijanske stare sorte *Cinquantino*, *Marano*, *Quarantino* i druge)
- 5) rani patuljasti tvrdunci (*Early dwarf flints*)
- 6) južni valjkasti tvrdunci (*Southern cylindrical flints*)
- 7) kasni južni valjkasti tvrdunci (*Late southern cylindrical flints*)
- 8) stožasti tvrdunci (*Conical flints*)
- 9) osmoredni tvrdunci (*Eight rows flints*)

Skupina autora (**Brandenburg i sur.** 2017.) istraživala je podrijetlo europske germplazme, odakle je introducirana te gdje se i kako miješala u cilju adaptacije na nove klimatske uvjete. Identificirano je pet glavnih skupina:

- 1) sjeverni tvrdunci (američki i europski)
- 2) zuban Kukuruznog pojasa
- 3) tropski tipovi (meksički, karipski, južnoamerički)
- 4) europski tvrdunci
- 5) španjolski i talijanski tipovi, čije rute i mješavine otkrivaju kompleksnu demografsku povijest.

Slično kao i kod **Tenaillon i Charcosset** (2011.), autori navode i dvije neovisne migracijske rute ovih populacija: sjeverni američki tvrdunci i *Corn Belt Dent* stigli su iz područja SAD u srednju i sjevernu Europu, dok su ostali tipovi stigli preko južnijih ruta u južnu Europu.

U Srednjoj Americi prehrana mnogih zemalja od davnih vremena do danas zasnovana je na grahu i kukuruзу ili riži (na Kubi kombinaciju crnoga graha i bijele riže lokalni stanovnici nazivaju *moros y cristianos*, što u prijevodu znači *Arapi i kršćani*, prema tamnijoj boji kože Arapa u odnosu na kršćane), kako bi se namirila potreba organizma za ugljikohidratima i bjelančevinama. No ne samo to, u Srednjoj Americi kukuruz se redovno kuha u alkalnoj otopini (što omogućuje veću dostupnost niacina iz zrna), što se u drugim regijama uglavnom nije prakticiralo. U nekim dijelovima svijeta u kojima se zbog manjka drugih namirnica prešlo na prehranu zasnovanu samo na kukuruзу pojavila se specifična bolest pod nazivom *pelagra* (nedostatak niacina, odnosno vitamina B₃). **Levi** (2014.) opisuje pojavu pelagre u 18. stoljeću u Italiji, nakon što su ljudi uslijed nedostatka pšenice i raži prešli gotovo sasvim na prehranu zasnovanu na kukuruзу. Početkom 20. stoljeća pelagra se pojavila i na jugu Sjedinjenih Američkih Država poprimivši u nekoliko narednih desetljeća status epidemije (**Sydenstricker** 1958.; **Bollet** 1992.). Zanimljivo je kako su ljudi u prošlim vremenima mnoge bolesti povezivali s izmišljenim i mitološkim bićima poput vila ili vampira. Ni pelagra nije bila iznimka jer je jedan od simptoma ove bolesti dermatitis, odnosno osjetljivost na sunčevu svjetlost (**Hampl i Hampl** 1997.), što je prema davnim usmenim predajama mnogih europskih i svjetskih naroda jedna od glavnih slabosti vampira i ostalih noćnih stvorenja iz mitova i legenda. Kako se u svijetu povećavala kvaliteta života tako su se i bolesti poput pelagre vremenom prestale pojavljivati, barem kada se problem razmatra u nekim većim, epidemiološkim razmjerima.

Hrvatska i regija

Količina dokaza o introdukciji kukuruza na prostore Panonske nizine nedovoljna je kako bi se stvorila cjelovita slika, no kako su zabilježeni izvještaji o introdukciji s nekoliko različitih strana (**Radić** 1872.; **Pavličić i Trifunović** 1966.), može se pretpostaviti kako je postojalo nekoliko neovisnih ruta dolaska kukuruza na naše prostore. Kukuruz su u Hrvatsku i druge dijelove regije najvjerojatnije donijeli Turci za vrijeme Osmanlijskog carstva (u mnogim krajevima kukuruz se zvao i *tursko žito*), iako ima zapisa i o introdukciji s Jadranskog mora preko Venecije (**Pavličić i Trifunović** 1966.). Obje su ove mogućnosti otvorene, a možda je i najvjerojatnije da su obje rute bile aktualne, uz otvoreno pitanje o točnom prostornom i vremenskom slijedu. Paralela s turskim žitom može se povući i nezaobilaznom *turskom kavom*, koja nije turska po podrijetlu, ali su je Turci donijeli na ove prostore i širili dalje pa se sam naziv udomaćio i zadržao, poput mnogih drugih riječi koje su do danas ne samo vrlo korištene nego i dio standardnog jezika (sarma, taban, badem, patlidžan i mnoge druge). Sama riječ kukuruz (*cucurruz*), koja se u potpuno istoj verziji koristi u Hrvatskoj, Srbiji, Bosni, ali i mnogim drugim zemljama, u Hrvatskoj se spominje čak davne 1190. godine, 303 godine prije nego što je Kolumbo donio kukuruz u Španjolsku (**Šatović** 1998.), no taj naziv vjerojatno potječe od naziva nekog mjesta ili neke druge vrste riječi te se teško može uzeti kao dokaz koji bi potvrdio da je kukuruz u to vrijeme postojao u ovom dijelu Europe. Mnogi dokazi u prošlosti skupljani su na sličan način – proučavanjem natpisa, crteža i kipova, bez konkretnih fizičkih dokaza koji bi takve kontrolverzne navode nedvojbeno potvrdili.

Proučavajući raznolikost rasa kukuruza u bivšoj Jugoslaviji, **Pavličić i Trifunović** (1966.) napravili su podjelu na 16 osnovnih skupina, što se djelomično podudara s podjelom koju su objavili **Leng i sur.** (1962.):

- 1) crnogorski tvrdunci (*Montenegrin flints*)
- 2) bosanski rani zubani (*Bosnian early dents*)
- 3) kosovski polu-tvrdunci (*Kosmet semi-flints*)
- 4) makedonski tvrdunci (*Macedonian flints*)
- 5) sjeveroistočni osmoredni tvrdunci (*Northeastern 8-row flints*)
- 6) izvedeni tvrdunci (*Derived flints*)
- 7) mediteranski tvrdunci (*Mediterranean flints*)
- 8) sitnozrni tvrdunci (*Small-grain flints*)

- 9) osmoredni meki zubani (*8-row soft dents*)
- 10) rumunjski tvrdunci (*Romanian flints*)
- 11) krupnoklipi tvrdunci (*Large-eared flints*)
- 12) bijeli poluzubani 'moravac' (*White semi-dents 'moravac'*)
- 13) zubani Kukuruznog pojasa (*Corn Belt dents*)
- 14) izvedeni zubani (*Derived dents*)
- 15) južni zubani (*Southern dents*)
- 16) srpski zubani (*Serbian dents*).

Radić (1986.) navodi kako se u Slavoniji i Baranji proizvodilo oko 70 % hrvatskog i oko 13 % jugoslavenskog kukuruza. Jednu od najvećih studija o rasama kukuruza u bivšoj Jugoslaviji napravili su **Gerić i sur.** (1989.), koji su koristeći kolekciju od preko 2000 populacija prikupljenih diljem bivše Jugoslavije (**Radović** 1985.) i klasificiranih u 18 različitih skupina uglavnom na osnovu morfoloških razlika (prema **Pavličiću i Trifunoviću** 1966., uz dodane dvije populacije dobivene križanjem) proučavali varijabilnost populacija analizom izoenzima. Od cijele kolekcije ukupno su analizirali 277 populacija i utvrdili veću varijabilnost unutar



Slika 91. *Bijeli osmoredac, jedna od najraširenijih starih sorata, Stari Mikanovci, Slavonija.*

nego između populacija. Ovo istraživanje provelo se kako bi se utvrdila genetička raznolikost populacija i potencijal germplazme u oplemenjivanju kukuruza. **Galić i sur.** (2020.b) proveli su istraživanje na 572 genotipizirane linije kako bi odredili genetičku raznolikost, usporedili odabrani set s drugim europskim panelima genotipiziranih inbred linija (**Millet i sur.** 2016.; **Unterseer i sur.** 2016.) te utvrdili postoje li genomske regije u kojima se može vidjeti utjecaj selekcije pri adaptaciji na uvjete jugoistočne Europe (primke su bile pohranjene u banku gena Instituta za kukuruz „Zemun polje“, 486 primki bilo je iz jugoistočne Europe, a 86 iz drugih područja).

Hadi (2004.) navodi kako su Turci iz Španjolske donijeli karipske tvrduce na područje Mađarske u 16. stoljeću te kako je dugo vremena taj tip igrao glavnu ulogu u proizvodnji kukuruza u Mađarskoj, ali i u formiranju novih izvora germplazme u istočnom dijelu središnje Europe. U ranom 19. stoljeću u Mađarsku su iz Italije introducirani i tvrduci s područja Anda, sjeverni tvrduci, južni zubani (*Gourdseed*, *Hickory King*) te *Corn Belt* zubani (*Queen of Prairie*, *Iowa Goldmine*, *Leaming*). Kao i u većini drugih područja na koja je pristigao kukuruz, nove populacije križane su između sebe, ali i s postojećim populacijama kako bi se dobili novi, prinostniji izvori germplazme. Kao rezultat takvih križanja u istočnom dijelu središnje Europe nastale su dvije važne populacije koje su u velikoj mjeri pridonijele povećanju varijabilnosti, ali i prinosa, a to su sorte *Rumski zlatni zuban* i *Mindszentpuszta žuti zuban* (*Mind. Yellow Dent*).

Neke od najpoznatijih sorata iz regije su Rumski zlatni zuban, koju je R. Fleischmann stvorio masovnom selekcijom iz američkih sorata *Golden Mine* i *Queen of Prairie* (prema **Gotlinu** (1967.) ova sorta dobila se iz križanca *Queen of Prairie* i domaćeg višerednog tvrduca), *Šidski zuban* dobiven iz istih američkih sorata (**Babić i sur.** 2012.), *Topčiderski zuban* i *Novosadski zlatni zuban*, koji su dobiveni iz Beljskog zubana, *Zaječarski višeredni tvrduca* i drugi. **Kozumplik i Martinić-Jerčić** (2000.) navode kako je rad na razvoju Rumskog zlatnog zubana počeo 1909. godine, *Vukovarskog zubana* 1911. godine (*Vukovarski žuti zuban* izdvojen 1917. godine), a *Beljskog zubana* 1922. godine. U isto vrijeme (1920-e godine) Mirko Korić izdvaja sortu *Križevački rani zuban* te 1930-ih godina poznatu sortu *Korićev brzak*. **Hadi** (2005.) navodi kako je Rudolf Fleischmann svoj rad na kukuruzu započeo na imanju Petra Pejačevića u Rumi 1908. godine (**Fleischmann** 1913., 1914.). Izvor s kojim je počeo raditi bila je populacija koja se uzgajala u Rumi od kraja 19. stoljeća (populacija zubana *Early Golden*, vjerojatno prema američkim sortama *Livingstone's Early Golden* ili *Early Golden Mastodon**), križana s karipskim tvrducima.

* **Hadi** (2005.) navodi kako mnogi autori citiraju američku sortu *Queen of Prairie* kao izvor za dobivanje Rumskog zubana, ali kako je to vjerojatno kriva informacija. Iz ovakvih primjera vidi se koliko je podrijetlo južnoeuropske germplazme kukuruza još uvijek neistraženo. U teoriji, kada se govori o nekim povijesnim informacijama koje nisu potvrđene novijim istraživanjima, može se dogoditi da se netočan navod citira dovoljno puta te tako postane aktualan. Je li se to dogodilo i u ovome slučaju kada se govori o izvoru za dobivanje Rumskog zubana, ostaje za vidjeti.

Početak 20. stoljeća, 1909. godine, Fleischmann je u selekcijskom programu izdvojio klip br. 122 iz kojega su uskoro nastali Rumski, Vukovarski i Beljski zubani te nešto kasnije (1918. godine) i populacija "F" zlatni zuban ("F" *Golden Dent*) koja se u ranim 1930-ima razdvojila na dvije populacije: "F" rani žuti zuban ("F" *Early Yellow Dent*) i "F" Mezöhegyes žuti zuban ("F" *Mezőhegyes Yellow Dent*). Poznata sorta *Novosadski Flajšman* također je nastala od Rumske 122 populacije. Rumska populacija nastala iz klipa br. 122 pokazala se tako iznimno važnom populacijom jer su linije nastale iz te populacije svojevremeno bile najčešće korištene linije u Jugoslaviji (**Hadi** 2004., 2005.).


Osim danas prihvaćenog naziva kukuruz je kroz povijest u Hrvatskoj imao (i još uvijek ima) niz drugih naziva, od kojih su neki farmantun, farmentun, formentone, frmentin, frumentun, golokud, hermentin, hrementun, jarika, karuza, kokoruz, koruz, koloboč, kolomboč, mumuruska, premantur, trakinja, turkinja te mnoge druge inačice ovih riječi (**Šatović** 1998.). Isti autor prema višegodišnjim podacima iz raznorodne literature (agronomija, etnografija, dijalektologija, leksikografija) ističe 15 glavnih pojmova vezanih za kukuruz u Hrvatskoj do kraja 20. stoljeća, a to su kukuruz, metlica, metličati, svila, svilati, klip, komušina, komušati, runiti, oklasak, žganci, kukuružnjak, kokice, kukuruzana i kukuruzovina.



Slika 92. Klipovi kokičara, Poljoprivredni institut Osijek.

Uzgojne površine pod kukuruzom u Hrvatskoj drastično su se mijenjale. Prema **Šimiću i sur.** (2004.) prije Domovinskog rata sijalo se oko pola milijuna hektara, dok je u prvim godinama 21. stoljeća ta brojka pala na oko 300 000 ha te na samo oko 235 000 ha 2018. godine. Danas se kukuruz u Hrvatskoj proizvodi na oko 288 000 hektara (**DZS** 2022.), što je sada već nekoliko godina opet rastući trend povećane proizvodnje koji je u 2020. godini premašio 2,5 milijuna tona godišnje (**DZS** 2021.a).

Oplemenjivanje kukuruza i korištenje hibrida u proizvodnji kukuruza u Hrvatskoj i regiji započelo je u većoj mjeri u drugoj polovini 20. stoljeća, nakon Drugog svjetskog rata. **Tavčar** (1955.) navodi kako je FAO organizacija Ujedinjenih naroda odmah poslije Drugog svjetskog rata u svrhu pokusa poslala 30 najboljih američkih dvostrukih hibrida u Europu (inbred linije Wf9, 38-11, Hy, L317, N6, K148, K150, M14, W32, W187, A374, A375, Oh7, A, W22), ali i kako se iz linija dobivenih iz poznatih sorata *Osmak*, *Hrvatica* i *Rumski zuban* križanjem mogu dobiti prinostni hibridi koji bi vremenom zamijenili američke. Iako je tadašnja Jugoslavija u početku odbila tzv. *Marshallov plan* pomoći Europskim zemljama nakon rata, nakon raskola na relaciji Tito-Staljin 1948. godine, Jugoslavija počinje primati novčanu pomoć iz SAD-a (**Lampe i sur.** 1990.), što je vjerojatno doprinijelo i razvoju poljoprivrede u to vrijeme. Kako se elitna američka oplemenjivačka germplazma od 1960-ih godina sve više koristila u oplemenjivačkim programima, u više navrata je introducirana na naše prostore, što je utjecalo na strukturu korištene germplazme u jugoistočnoj Europi.



Slika 93. *Bijeli zuban, Slavonija.*

Azija

Prema mnogim predajama, Osmanlijsko je carstvo u svojoj fazi ekspanzije na dijelove Europe, Azije i Afrike bilo važan posrednik u širenju kukuruza na te novoosvojene prostore. Isto tako, trgovačke rute drugih velikih sila poput Portugala i Španjolske počele su širiti kukuruz po Starom svijetu. **Desjardins i McCarthy** (2004.) navode mnoge izvore o podrijetlu kukuruza u Aziji.

Mir i sur. (2013) predlažu nekoliko pravaca introdukcije kukuruza u Aziju:

1) kukuruz iz današnjeg Meksika (skupina *Mexican highlands*) preko Portugalskih moreplovaca poslije 1496. godine stiže rutom preko Indijskog oceana do jugoistočne Azije (današnja Indonezija), odakle se širi na sjever do Tajlanda, Kambodže, Vijetnama, Burme i dalje do Kine i Japana,

2) kukuruz iz Kariba (skupina *Tropical lowlands*) dolazi do Španjolske neposredno nakon otkrića Amerike, odakle ga muslimanski trgovci prenose dalje na istok, od današnje Turske, preko Iraka i Irana do Afganistana, Pakistana i Indije,

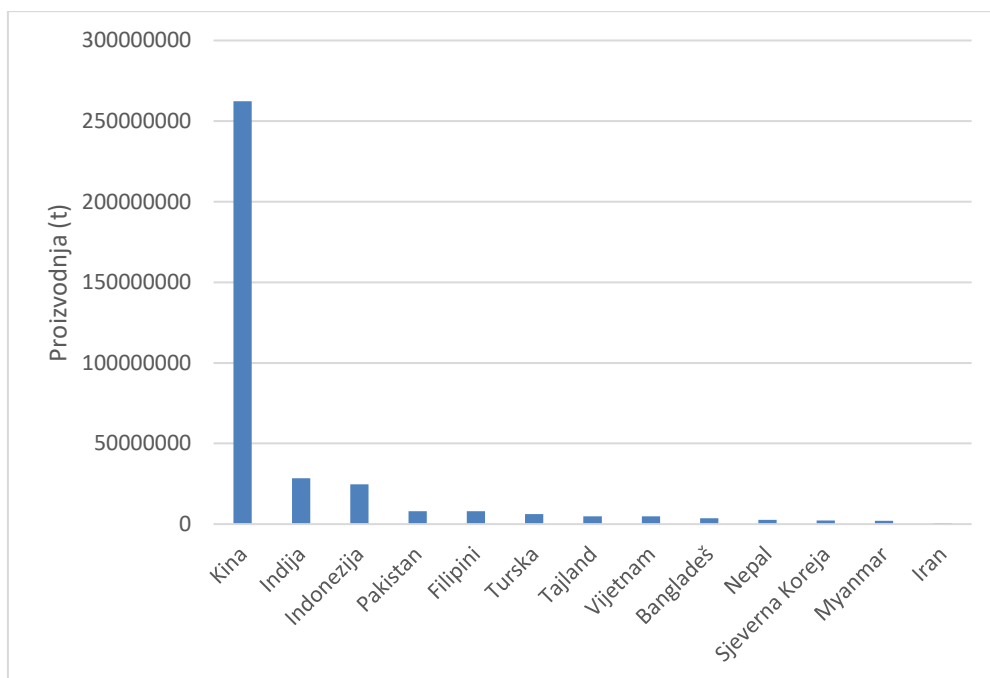
3) kukuruz iz središnjeg dijela Južne Amerike (skupina *Middle South-America*) na portugalskim brodovima stiže prvo do Afrike, a onda i do Indije,

4) kukuruz iz današnjeg SAD-a (skupine *Northern US flints* i *Middle North-America*) u 19. stoljeću preko Tihog oceana stiže u Kinu.

Iako se u ovoj opsežnoj studiji za genotipizaciju koristilo 11 985 biljaka kukuruza iz 784 različite populacije prikupljene iz cijelog svijeta, vrijedi reći da su, uzevši u obzir ogromnu raznolikost kukuruza, ove predložene rute širenja kukuruza iz Amerika u Stari svijet još uvijek vrlo pojednostavljene. Puno dodatnih istraživanja s puno više uzoraka i dodatnih lokacija potrebno je kako bi se dobila cjelovitija slika ovih važnih događanja koja su nadalje oblikovala europsku i azijsku civilizaciju.

Velika većina kukuruza u Aziji proizvodi se u samo tri države, a to su Kina (oko 72 %), Indija (oko 8 %) i Indonezija (oko 7 %) (u obzir je uzet petogodišnji prosjek 13 najvećih azijskih proizvođača koji godišnje proizvedu najmanje 1,25 milijuna tona zrna). Na svjetskoj ljestvici Kina je druga po proizvodnji, Indija šesta, a Indonezija osma (za izračun je uzeto petogodišnje razdoblje od 2017. do 2021. godine) (**FAOSTAT 2023.**).

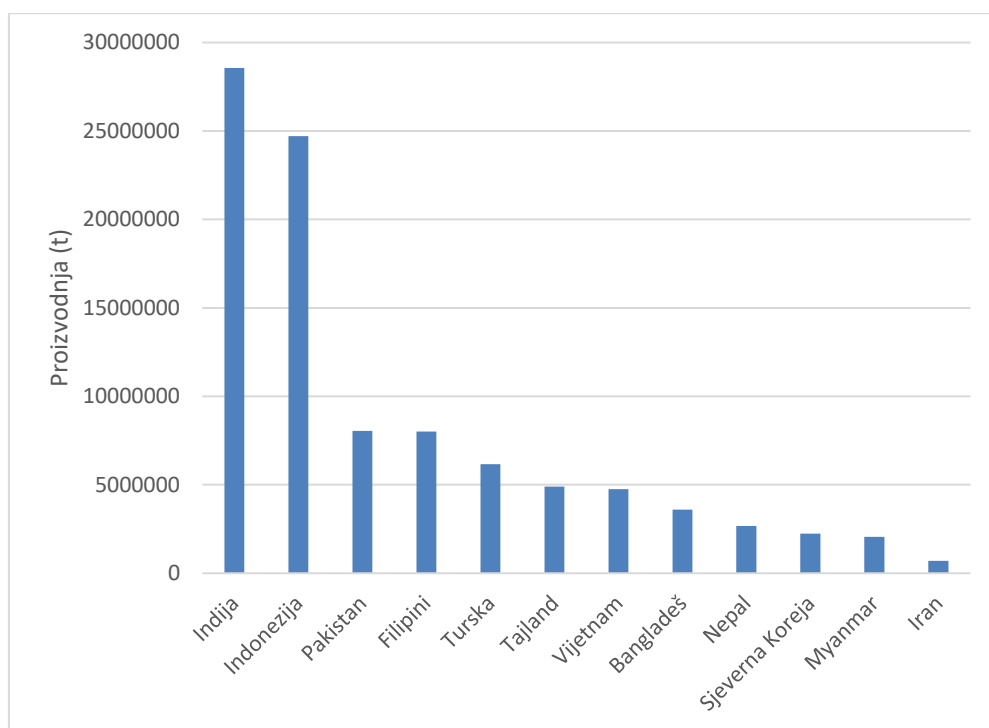
Kina je po zasijanim površinama pod kukuruzom na prvom mjestu u svijetu s oko 42 milijuna hektara. Ipak, kako je u Kini prosječni prinos oko 6,23 t/ha, Sjedinjene Američke Države su i dalje glavni proizvođač (oko 33 milijuna hektara, uz prinos od 10,91 t/ha) (FAOSTAT 2023.). Najranija literatura o kukuruzu u Kini može se naći u povijesnoj knjizi *Yingzhou Records* iz 1511. godine, ali još uvijek se ne zna točno kako i kada je kukuruz stigao u Kinu. **Ho** (1955.) navodi kako je kukuruz prvi puta spomenut 1555. godine u zapisima o povijesti okruga Kung-hsien u zapadnom dijelu provincije Hunan te kako se može pretpostaviti da je introducirani nekoliko desetljeća prije toga. Prema nekim povijesnim studijama jedna ruta introdukcije mogla je ići pomorskim putem do obalnih dijelova Kine pa dalje u unutrašnjost, a druga kopnenim putem iz Indije preko Tibeta u jugozapadnu Kinu (**Li** 2009.).



Grafikon 4. Proizvodnja kukuruza u Aziji (prosjeak pet godina, 2017. - 2021.).

Indija je još jedna drevna, velika civilizacija u kojoj se kukuruz adaptirao i vremenom raširio na velike uzgojne površine. Mnogi autori navode izvješće **Watta** (1893.) koji ističe kako su kukuruz u Indiju introducirali portugalski moreplovci tijekom 16. stoljeća. Može se pretpostaviti kako se s indijske obale kukuruz širio na sjever prema Nepal i Kini. Iako se u Nepal u proizvodi podosta kukuruza, samo oko 10 % proizvedenog kukuruza u toj zemlji otpada na

hibridni kukuruz (**Kandel** 2020.). To pokazuje kolike su primjerice razlike između proizvodnih i ekonomskih uvjeta u Europi i Aziji – u usporedbi s Hrvatskom, Nepal treba preko tri puta više površina za istu količinu proizvedenog kukuruza. Ali u Hrvatskoj, kao i u većini europskih država značajnih u proizvodnji kukuruza, velika većina proizvedenog kukuruza otpada na hibridni kukuruz. Hrvatska nije na glasu kao prebogata zemlja, ali da se u današnje vrijeme bilo kojem ozbiljnom proizvođaču kod nas ponudi bavljenje sortama i populacijama – koje imaju 4 do 5 puta manje prinose – umjesto hibridima, to bi bilo potpuno neprihvatljivo.



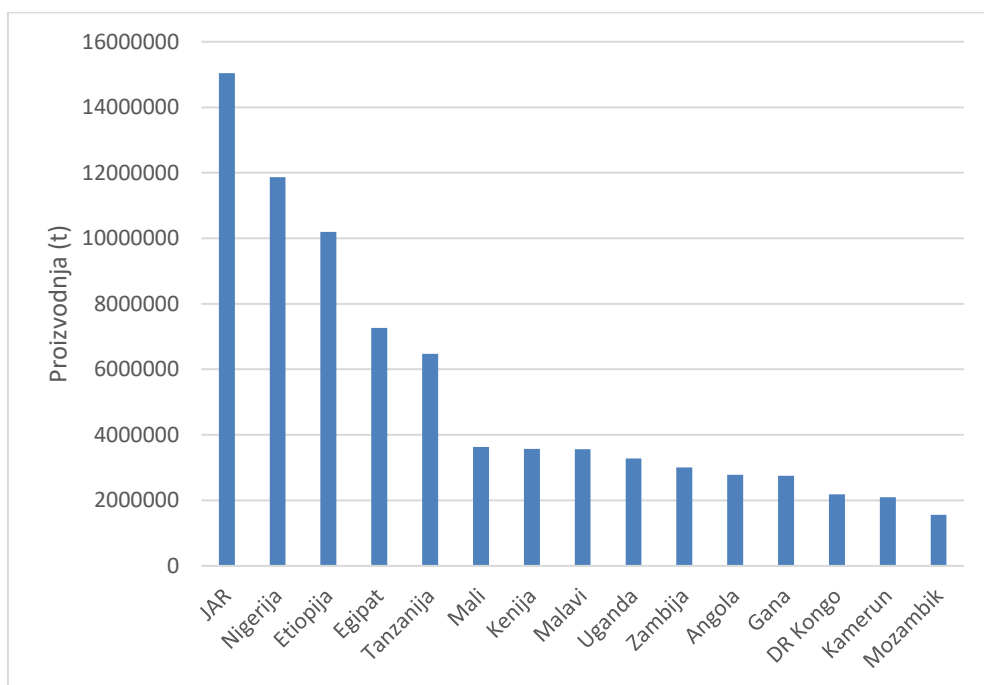
Grafikon 5. Proizvodnja kukuruza u Aziji bez Kine (prosjek pet godina, 2017. - 2021.).

Zanimljiva situacija s namjenom kukuruza dogodila se u Indoneziji i to u vrlo kratko vrijeme. Naime, veliki dio proizvedenog kukuruza u Indoneziji bio je namijenjen ljudskoj prehrani – preko 82 % u 1985. godini, što se smanjilo na samo 18 % u 2009. godini (**Haryono** 2013.). **Kasryno** (2002.) procjenjuje kako je oko 43 % kukuruza u 2001. godini bilo namijenjeno ljudskoj prehrani. Kukuruz je u taj dio svijeta (jugoistočna Azija) vjerojatno pristigao već krajem 15. i početkom 16. stoljeća, nakon čega se širio dalje na sjever (Tajland, Filipini, Vijetnam, Kina i druge zemlje) (**Mir i sur.** 2013.).

Prema dugogodišnjem prosjeku (Tablica 2) Filipini su 19. proizvođač kukuruza u svijetu s oko 7,5 milijuna tona godišnje, dok je Pakistan na 22. mjestu s oko 5,8 milijuna tona. No, u zadnje vrijeme proizvodnja kukuruza u Pakistanu značajno se povećala (oko 10,6 milijuna tona 2021. godine), što je Pakistan stavilo na mjesto četvrtog najvećeg proizvođača kukuruza u Aziji, odmah iza Indonezije. S druge strane, proizvodnja kukuruza u Iranu značajno je pala (samo oko 320 tisuća tona 2021. godine u odnosu na 1,6 milijuna tona 2008. godine) (FAOSTAT 2023.).

Afrika

Za razliku od Azije, na afričkom kontinentu nema tako velikog proizvođača kao što je Kina. Afrička proizvodnja distribuirana je na više (u svjetskim razmjerima) manjih proizvođača. Na prvome je mjestu Južnoafrička Republika koja na svjetskoj ljestvici proizvodnje kukuruza prema dugogodišnjem prosjeku, ali i petogodišnjem razdoblju od 2017. do 2021. godine zauzima 10. mjesto. Listu pet najvećih afričkih proizvođača kukuruza zatvaraju Nigerija, Etiopija, Egipat i Tanzanija (Grafikon 6, FAOSTAT 2023.).



Grafikon 6. Proizvodnja kukuruza u Africi (prosjek pet godina, 2017. - 2021.).

Uzevši u obzir 17 najvećih afričkih proizvođača koji godišnje proizvedu najmanje 1,25 milijuna tona kukuruza (osim Južnoafričke Republike tu su redom i Nigerija, Etiopija, Egipat, Tanzanija, Malavi, Kenija, Uganda, Zambija, Mali, Gana, DR Kongo, Kamerun, Angola, Mozambik, Burkina Faso i Benin), što je velika većina kukuruza proizvedenog u Africi (oko 89 %), svi oni zajedno iznose svega oko 7 % svjetske proizvodnje (**FAOSTAT 2023.**). Ipak, u odnosu na mnoge druge kukuruzne regije svijeta, u Africi se kukuruz puno koristi kao hrana za ljude, što ukazuje na slabiji razvoj intenzivnog stočarstva i industrije, za razliku od razvijenijih područja svijeta u kojima dobar dio proizvedenog kukuruza otpada na stočnu hranu i sirovinu za razne industrije.

U svojoj knjizi *Kukuruz i milost (Maize and grace)* autor James McCann navodi kako je Afrika više nego ijedan drugi kontinent ovisna o kukuruzu kao izvoru hrane te opisuje kako se razvijala priča o kukuruzu u Africi, od introdukcije nedugo nakon otkrića Amerike pa do kraja 20. stoljeća (**McCann 2005.**). Prema istraživanju **Dowswella i sur.** (1996.) od 22 zemlje u kojima je kukuruz najviše zastupljen u ljudskoj prehrani u odnosu na ostale namirnice, čak 16 je u Africi (Južna Afrika, Lesoto, Esvatini, Bocvana, Namibija, Reunion, Zimbabve, Malavi, Zambija, Tanzanija, Kenija, Zelenortska Republika, Benin, Etiopija, Somalija i Egipat). Ostale svjetske zemlje iz ove kategorije uključuju Nepal u Aziji i naravno Meksiko, Gvatemalu, Salvador, Nikaragvu i Honduras u Srednjoj Americi. Isti, ali i drugi autori (**Byerlee i Eicher 1997.**) navode kako se čak 95 % kukuruza u Africi proizvodi za ljudsku prehranu, za razliku od 34 % u svijetu.

Ono što je svakako vrlo zanimljivo je da je većina (čak preko 90 %) kukuruza proizvedenog u Africi bijele boje zrna, dok je u svijetu otprilike isti omjer, ali u korist žute boje prema svim ostalim bojama. Dakle, otprilike jedna trećina bijelog kukuruza proizvodi se u Africi (**McCann 2005.**), dok je primjerice u Europi i SAD-u bijeli kukuruz zapravo kukuruz za posebne namjene i količina mu je vrlo ograničena. Dominantnost bijelog kukuruza u Africi rezultat je interakcije mnogih čimbenika: zakonske regulacije u smislu restrikcija proizvodnje kukuruza koji nije bijele boje (**Smith 1979.**) te raznih komercijalnih razloga, primjerice mlinarima je uglavnom bilo puno lakše procesuirati kukuruz iste boje pa su mnogi proizvođači zbog toga sve više prelazili na bijeli kukuruz ili jednostavne činjenice da je na tržnicama u primjerice Johannesburgu u Južnoafričkoj Republici bijeli kukuruz bio jeftiniji od žutog (**Burt-Davy 1914.**).

U osobnoj komunikaciji s turskim proizvođačima o bojama zrna kukuruza u proizvodnom području oko grada Manise u Egejskoj regiji Turske, proizvođači su naglasili kako bijelo zrno kukuruza nikako nije poželjno jer u njemu *nema snage*, dok je žuto zrno ono što se traži, između ostalog i zato što podsjeća na zlato, njegovu moć i vrijednost, što pogotovo dolazi do izražaja uzimajući u obzir koliko su turski osmanlijski preci cijenili zlato kao jedan od najplemenitijih metala. Ovaj turski primjer pokazuje kako i nominalno manje važna svojstva kod kukuruza mogu imati veliku važnost. U ovome slučaju kukuruz se cijenio između ostaloga i zbog vizualne privlačnosti zrna te širio prema preferencijama i navikama proizvođača, što je vremenom postala tradicija cijele proizvodne regije.

Njemački misionar Sigismund Wilhelm Kölle 1854. godine objavio je svojevremeno važan popis raznih afričkih riječi u obliku knjige pod nazivom *Polyglotta Africana* (Kölle 1963.), što je označilo početak detaljnijeg proučavanja afričkih jezika od strane europskih istraživača. U knjizi se nalaze i mnogi nazivi kojima su afrički narodi nazivali kukuruz (primjerice osnovna riječ za kukuruz u benue-kongoanskoj jezičnoj porodici koja obuhvaća gotovo 1000 različitih jezika je *agbado* i njene brojne inačice; Tablica 28).

Iako je Južnoafrička Republika najveći afrički proizvođač kukuruza, kukuruz je vjerojatno prvo stigao u sjevernu Afriku. Neke od ranijih uvida u introdukciju i širenje kukuruza u Afriku u drugoj polovini 20. stoljeća dali su **Jeffreys** (1963.) i **Miracle** (1965.), a početkom 21. stoljeća James McCann objavljuje detaljan pregled o kukuruzu u Africi, od introdukcije početkom 16. stoljeća do širenja po kontinentu zaključno s krajem 20. stoljeća (McCann 2001.) te gore spomenutu knjigu slične tematike. **Mir i sur.** (2013.) u svome istraživanju navode četiri vjerojatna pravca širenja kukuruza iz Amerike prema Starom svijetu, od čega se ovdje navodi tri koja su vodila prema Africi:

1) kukuruz iz Kariba, španjolskim brodovima odmah nakon otkrića krajem 15. stoljeća dolazi do južne Španjolske, odakle ga osmanlijski trgovci prenose dalje preko sjeverne Afrike do Bliskog Istoka i dalje prema Indiji te preko sjeveroistočne Afrike (Egipat) dolje na jug kontinenta,

2) kukuruz iz sjevernog dijela Južne Amerike isto tako posredstvom španjolskih trgovaca u prvoj polovini 16. stoljeća dolazi jednom rutom također u Andaluziju, a drugom do Zapadne obale Afrike odakle se širi dalje prema jugu i istoku kontinenta,

3) kukuruz iz središnjeg dijela Južne Amerike portugalskim brodovima dolazi u 17. stoljeću do Zelenortskog Otočja i zapadne Afrike.

McCann (2005.) navodi kako su prvi tipovi kukuruza koji su pristigli u Stari svijet preko španjolskih trgovačkih ruta bili karipski i brazilski tvrdunci, ali kako je i Venecija igrala važnu ulogu u opskrbljivanju Afrike kukuruzom preko doline Nila i Crvenog mora te bila jedan od primarnih izvora preko kojih je kukuruz uopće pristigao na tzv. Crni kontinent. Nakon što je kukuruz pristigao u Afriku, u mnogim dijelovima kontinenta udomaćio se kao jedna od osnovnih namirnica, što je utjecalo na porast gustoće populacije i posljedični porast u izvozu robova preko Atlantskog oceana nazad u Ameriku (**Curtin** 1969.; **Crosby** 1972.; **Cherniwchan i Moreno-Cruz** 2019.). Kao i u slučaju drugih kontinenata Staroga svijeta, iako ima – uglavnom starijih – izvješća o kukuruzu u Africi prije Kolumba (**Jeffreys** 1967.), te tvrdnje nisu potvrđene novijim istraživanjima.

Afrika je još uvijek najsiromašniji kontinent svijeta, iako se unutar dugoročnih trendova vidi polagani napredak. Za očekivati je kako će se razvojem gospodarstva u Africi drastično povećati i proizvodnja kukuruza, a time i životni uvjeti mnogih ljudi koji danas, duboko u 21. stoljeću, žive na rubu gladi. Prema **Abate i sur.** (2017.) od 1950. do 2014. godine u 24 afričke države introducirano je oko 1700 kultivara kukuruza, od čega oko 68 % otpada na hibride, a oko 32 % na sorte (OPV). Taj omjer hibrida i sorata u Africi se i dalje mijenja u korist hibrida. Na prijelazu stoljeća omjer je bio otprilike 50 : 50, a danas je značajno više površina zasijano hibridima. To bi trebalo značiti kako će i prinos po jedinici površine u Africi vjerojatno i dalje rasti, što bi svakako trebalo pomoći u rješavanju jednoga od još uvijek gorućih problema ovoga prirodno bogatog i ekonomski siromašnog kontinenta, a to je neishranjenost.



3. Germplazma i oplemenjivanje kukuruza

3.1. Podjela germplazme

Kako se kukuruz kao jedna od najvažnijih kulturnih biljnih vrsta odlikuje velikom varijabilnošću svojstava, klasifikacija germplazme oduvijek je predstavljala težak zadatak onima koji su je proučavali. Jedna od prvih predloženih klasifikacija bila je ona prema **Sturtevantu** (1899.), koji je germplazmu kukuruza podijelio u šest glavnih skupina prema tipu endosperma. Ovu podjelu nadopunio je **Kuleshov** (1933.), podijelivši germplazmu kukuruza u osam glavnih skupina (Tablica 31), dok su **Anderson i Cutler** (1942.) u potrazi za što boljom determinacijom skupina koje će što jasnije predstavljati germplazmu kukuruza, stvorili koncept rasa kukuruza (eng. *races of maize*). Taj koncept, iako složen i nedovršen, još se uvijek koristi, a detaljnije su ga u svome istraživanju predstavili **Goodman i Bird** (1977.) te **Goodman i Brown** (1988.). Umjesto pojma *rasa*, za isto značenje koriste se i drugi pojmovi kao što su *forma*, *varijetet*, *skupina* i drugi. Isto tako, u mnogim su istraživanjima pojmovi *races* i *landraces* istoznačni, pa bi se za *landrace* mogao koristiti pojam *rasa*, jer za tu riječ ne postoji točan prijevod.

Tablica 31. Podjela kukuruza po tipu zrna

Hrvatski	Engleski	Latinski
Tvrđunac	Flint	<i>Zea mays indurata</i>
Škrobni	Floury	<i>Zea mays amylacea</i>
Zuban	Dent	<i>Zea mays indentata</i>
Kokičar	Popcorn	<i>Zea mays everta</i>
Šećerac	Sweet	<i>Zea mays saccharata</i>
Škrobni šećerac	Starchy-sugary	<i>Zea mays amylea saccharata</i>
Voštani	Waxy	<i>Zea mays ceratina</i>
Pljevičar	Pod	<i>Zea mays tunicata</i>

Najrašireniji tip kukuruza u svijetu je **zuban** (eng. *dent*), koji se uglavnom koristi za hranidbu domaćih životinja, ali i za mnoge druge namjene (etanol, gorivo, sirup i drugo). **Tvrđunac** (eng. *flint*) se zbog više kvalitete zrna koris-

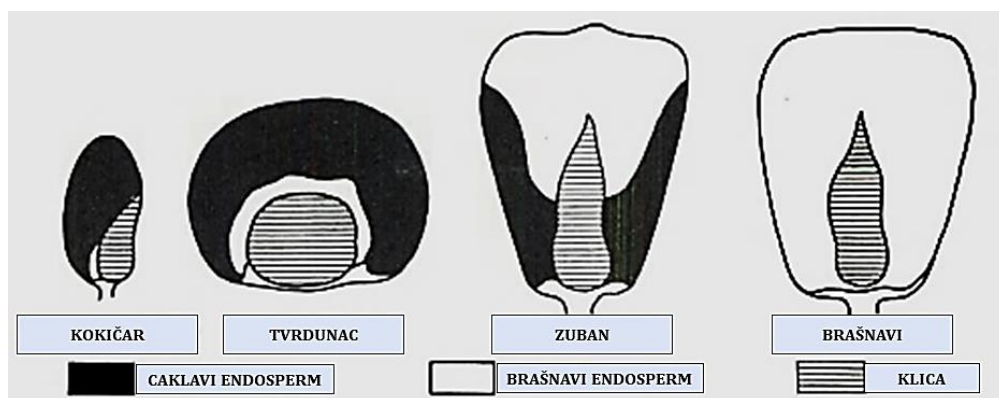
ti u prehrambenoj industriji. Od tvrdunca se pravi kukuruzno brašno, kruh, palenta, čips, tortilje i mnogi drugi proizvodi. Također, tvrdunac se koristi i za hranidbu domaćih životinja (primjerice u sjevernijim krajevima kombinira se sa zubanom kako bi proizvedena silaža bila kvalitetnija i probavljivija). **Šećerac** i **kokičar** također se koriste u ljudskoj prehrani (kuhani kukuruz, kokice i ostalo), a **škrobni** kao sirovina za dobivanje cijele palete različitih proizvoda. Više o namjeni određenih tipova kukuruza može se pročitati u šestom dijelu prvog poglavlja *Upotreba kukuruza*.

Osim podjele po tipu endosperma, kukuruz se dijeli i po boji endosperma, odnosno aleuronskog sloja, koji je zapravo vanjski omotač endosperma. Najčešća boja endosperma (zrna) je žuta i danas je većina komercijalno proizvedenog kukuruza žute boje zrna. Boja zrna uvjetovana je manjim brojem gena. Osim žute boje zrna, kod kukuruza se još pojavljuje i narančasta, crvena, bijela, plava, ljubičasta, smeđa, zelena pa čak i crna te mnoge varijacije i kombinacije ovih boja. Kod nekih tipova kukuruza često se na istom zrnju pojavljuju različite boje pa tako postoje kombinacije kao što su crveno-bijelo zrno, crveno-žuto, ljubičasto-smeđe, plavo-crno i mnoge druge varijante s više od jedne boje. Dodatne važne podjele po namjeni, a u ovisnosti o dijelu biljke koji se koristi, načinu korištenja i tipu, mogu se vidjeti u Tablicama 23 i 24 na kraju prvoga poglavlja.



Slike 95 - 96. Kokičar (lijevo) i šećerac (Tatjana Ledenčan).

Prema **Goodmanu i Brownu** (1988.) u svijetu je krajem 70-ih godina prošloga stoljeća bilo 285 različitih rasa kukuruza (Tablica 32). Više skupina istraživača na osnovu velikog broja uzoraka uzetih iz različitih regija američkog kontinenta podijelilo je germplazmu kukuruza na rase pa je tako u Peruu utvrđeno čak 49 različitih rasa (**Grobman i sur.** 1961.), u Brazilu i Argentini 52 (**Brieger i sur.** 1958.; **Paterniani i Goodman** 1977.), u Meksiku je utvrđeno 32 rase (**Wellhausen i sur.** 1952.), u Boliviji također 32 (**Ramirez i sur.** 1960.), u Kolumbiji (**Roberts i sur.** 1957.) i Ekvadoru (**Timothy i sur.** 1963.) po 23, dok je u Sjedinjenim Američkim Državama utvrđeno samo 9 različitih rasa kukuruza (**Brown i Goodman** 1977.). Iako su istraživanja različitih rasa kukuruza do sada bila opsežna, potrebna su dodatna istraživanja, odnosno skupljanje novih uzoraka na lokacijama u različitim regijama. Uzevši u obzir činjenicu da je varijabilnost germplazme kukuruza ogromna, gotovo je sigurno da bi se sve postojeće podjele mogle nadopuniti, a vjerojatno i modificirati novim nalazima, što se u praksi prilično često i događa. Kukuruz danas okvirno možemo podijeliti na standardni (eng. *field corn*; u velikoj većini slučajeva ova kategorija odnosi se na tip zubana) te kukuruz za posebne namjene (eng. *specialty corn*; uključuje ostale tipove kao što su šećerac, kokičar, brašnavi, uljani i drugo). **Dumanović i Pajić** (1998.) opisuju neke glavne skupine kukuruza za posebnu namjenu (amilozni, voštani, visokolizinski, visokouljani, šećerac, kokičar, bijeli) te razmatraju njihovu primjenu. Skupina autora navodi 11 osnovnih tipova zrna unutar popisa opisnih kategorija za lakše i djelotvornije čuvanje germplazme (**IBPGR** 1991.): brašnavi, polubrašnavi, zuban, poluzuban, polutvrđunac, tvrdunac, kokičar, šećerac, opaque 2/QPM, pljevičar i voštani.



Slika 97. Neki od glavnih tipova zrna (preuzeto iz **Brunson i Richardson** 1958.).

Mangelsdorf (1974.) je pokušao prikazati varijabilnost rasa kukuruza Latin-ske Amerike te je izdvojio šest glavnih skupina (eng. *lineages*) koje su sve nastale od divljih (srodnika) kukuruza. Tih šest drevnih, ali još živućih pre-daka kukuruza idući od sjevera prema jugu Latinske Amerike su:

- 1) *Palomero Toluqueño*, meksički kokičar ušiljenog zrna
- 2) *Chapalote-Nal-Tel* kompleks iz Meksika
- 3) *Pira Naranja* iz Kolumbije, predak tropskog narančastog tvrduca
- 4) *Confite Morocho* iz Perua, predak osmorednog kukuruza
- 5) *Chullpi* iz Perua, predak šećerca i srodnih škorbnatih tipova s okruglastim klipovima
- 6) *Kculli*, peruanski šareni kukuruz, predak svih tipova s obojenim perikarpom i aleuronom.

Tablica 32. Rase kukuruza u svijetu sedamdesetih godina 20. stoljeća

Područje	Broj rasa	Izvor
Meksiko	32	Wellhausen i sur. (1952.)
Kuba	7	Hathaway (1957.)
Kolumbija	23	Roberts i sur. (1957.)
Srednja Amerika	13	Wellhausen i sur. (1957.)
Brazil, Argentina	52	Brieger i sur. (1958.)
		Paterniani i Goodman (1977.)
Bolivija	32	Ramirez i sur. (1960.)
Karibi	7	Brown (1960.)
Čile	19	Timothy i sur. (1961.)
Peru	49	Grobman i sur. (1961.)
Ekvador	23	Timothy i sur. (1963.)
Venezuela	19	Grant i sur. (1963.)
SAD	9	Brown i Goodman (1977.)
Europa	11	Leng i sur. (1962.)

Na osnovu PCA i *cluster* analize 20 svojstava klipa 219 različitih rasa Latin-ske Amerike **Goodman i Bird** (1977.) formirali su 14 skupina germplazme, od kojih neke imaju i podskupine:

- 1) stožasti (*Cónico Group*) – Meksiko

- 2) karijski zubani (*Caribbean Dents*) – Meksiko, Južna Amerika, Karibi
- 3) južni kokičari (*Southern Popcorns*) – Južna Amerika
- 4) sjeverni južnoamerički kokičari (*Northern South American Popcorns*)
- 5) ravničarski brašnavi (*Lowland Flours*) – Amazona, Orinoco
- 6) skupina Chapalote (*Chapalote Group*) – Meksiko
- 7) sjeverozapadne južnoameričke rase (*Northwestern South American Races*)
- 8) južne južnoameričke rase (*Southern South American Races*)
- 9) južnoandski tvrdunci (*South Andean Flints*)
- 10) srednjeandski kompleks (*Central Andean Complex*)
- 11) moderni južni bijeli zuban (*Modern South White Dent*)
- 12) skupina Cuzco (*Cuzco Group*) – Peru, Bolivija
- 13) skupina Humahuaca (*Humahuaca Group*) – Argentina
- 14) skupina Cravos (*Cravos*) – Južna Amerika

Miller i Flores (1993.) izradili su poznati poster pod nazivom *Indian corn of the Americas* na kojemu su vrlo slikovito prikazali neke od najznačajnijih rasa kukuruza u Americi, od teozinte i najranijeg kukuruza do nekih standardnih rasa u Meksiku, Peru i SAD-u:

* najraniji domesticirani kukuruz – od prije 7000 godina, otkriven u dolini Tehuacan (Meksiko)

* teozinta (*teosinte*) – datira iz vremena od prije 7000 godina (Srednja Amerika)

* Balsas teozinta – divlja trava, predak modernog kukuruza (Meksiko)

* bijeli kukuruz – izolirani tip kukuruza malog klipa korišten u predmodernim vremenima (Argentina)

* rani primitivni kukuruz – mali klip, korišten za brašno (Kolumbija)

* pljevičar – rani tip s pljevicama na svakom zrnju (Brazil)

* peruanski drevni kukuruz – od prije 2500 godina, sličan divljem pljevičaru (Peru)

* *Paro* – kratak, mali klip s crvenim zrnima, uzgajali su ga kečuanski narodi (Peru i južni dio središnjih Anda)

* *Jalla* – ravničarski tip, uzgajan ekstenzivno u području Veracruza (Meksiko)

- * šareni minijaturni kukuruz – ukrasni kokičar sjajnog zrna žute, narančaste, crvene i plave boje
- * *Checchi* – ukrasni i ceremonijalni indijanski kukuruz kratkog klipa s pretežno plavim zrnima (Bolivija, andske visoravni)
- * prošarani kukuruz – kratak klip, crveno zrno; prilagođen visoravnima Altiplana (Bolivija)
- * *Pira Naranja* – rani narančasti kokičar (južna Kolumbija)
- * *Burgundy* – ceremonijalni, ukrasni indijanski kukuruz kratkog, zbijenog klipa s puno tamno-crvenih zrna (jugozapad Sjeverne Amerike)
- * *Granada* – kratak klip, uzgajan na preko 2500 metara nadmorske visine (Peru i središnji dio Anda)
- * *Cariaco* – indijanski kukuruz narančasto-crvenih zrna, uzgajan za brašno (Kolumbija)
- * *Cuzco Gigante* – kukuruz s vjerojatno najvećim zrnima na svijetu, uglavnom bijele boje (Peru)
- * *Piscacorunto* (ptičja jaja) – kukuruz kratkog, malog klipa s pjegavim zrnima, vrlo dobar za prženje (Brazil)
- * *Paru* – kukuruz izduženih, gotovo trokutastih zrna (Bolivija)
- * *Chalqueño* – visokoprinosni sitnozrni zuban korišten kao krmivo (Meksiko)
- * *Negro* – nizinski tip s crnim i crvenim zrnima (Costa Rica)
- * *Chococeño* – nizinski kukuruz s plavim i žutim zrnima, dobro podnosi minimalnu kultivaciju (Costa Rica)
- * *Tuxpeño (Sicarigua)* – komercijalni kultivar, poluzuban (Venezuela)
- * *Red Starburst* – kukuruz izduženog klipa s crvenim, crnim, narančastim i žutim zrnima; uzgajali su ga Hopi i Zuni plemena (Arizona, SAD)
- * *Pueblo Blue* – kukuruz plave boje zrna, uzgajan u dolini rijeke Rio Grande (Meksiko)
- * *Imbricado* – primitivni kultivar s preklapajućim zrnima, pogodan za uzgoj u planinskim predjelima (Kolumbija)
- * *Saccca* – tradicionalni tip indijanskog kukuruza (Peru)
- * *Olotón* – indijanski kukuruz (Guatemala)
- * *Huitlacoche* – snijet na kukuruzu, važan sastojak u prehrani pretkolombovskih kultura.

Meksiko kao domovina kukuruza sadrži pravo bogatstvo lokalnih sorata ili rasa (*landraces*). Jednu od najkompletnijih klasifikacija ove germplazme

predložili su **Sánchez i sur.** (2000.), a uključuje 50 od 59 poznatih rasa podijeljenih u pet skupina na temelju biokemijskih i morfoloških markera (**Ron-Parra i sur.** 2006.):

1) Središnje i sjeverno pobrđe (*Central and Northern Highlands Group*): *Apachito, Chalqueño, Mushito, Serrano de Jalisco, Elotes conicos, Conico Norteño, Dulce de Jalisco, Arrocillo Amarillo, Conico, Palomero Toluqueño, Azul, Cristalino de Chihuahua, Gordo, Cacahuacintle,*

2) Osmoredci (*Eight-Rowed Group*): *Ancho, Jala, Zamorano Amarillo, Onaveño, Bofo, Elotes Occidentales, Tabloncillo, Harinero de Ocho, Tabloncillo Perla, Bolita, Tablilla de Ocho,*

3) Kasni (*Late Maturity Group*): *Comiteco, Motozinteco, Tehua, Coscomatepec, Oloton, Dzit Bacal, Olotillo,*

4) Tropski zubani (*Tropical Dents Group*): *Celaya, Tuxpeño Norteño, Tuxpeño, Nal Tel de Altura, Vandeño, Conejo, Ratón, Zapalote Chico, Tepecintle, Zapalote Grande, Nal Tel, Pepitilla,*

5) Chapalote (*Chapalote Group*): *Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Elotero de Sinaloa, Reventador.*

Uspoređujući neke od najvažnijih europskih i američkih populacija **Rebourg i sur.** (2003.) izdvajaju pet glavnih europskih skupina:

1) njemački tvrdunac + plus tri sjeverna tvrdunca (*German Flint + 3 Northern Flint*)

2) sjeveroistočni europski tvrdunac + sjeverni tvrdunac i čileanski tvrdunac (*North-Eastern European Flint + Northern Flint and Chilean Flint*)

3) južnoeuropski tvrdunac osim južnošpanjolskih populacija + tri južnoameričke populacije (*Southern European Flint except Southern Spain populations + Southern American populations*)

4) Pirenejsko-galicijski tvrdunac (*Pyrenees-Galice Flint*)

5) Talijanski narančasti tvrdunac (*Italian orange Flint*)

te četiri američke:

1) sjevernoameričke populacije osim sjevernog tvrdunca (*North-American populations except Northern Flint*)

2) srednjeameričke populacije (*Central American populations*)

3) južnoameričke populacije osim čileanskih populacija (*South-American populations except Chilean populations*)

4) karipske populacije + južnošpanjolske populacije (*Caribbean populations + Southern Spain populations*).

U istraživanju koje je obuhvatilo gotovo sve do tada poznate rase kukuruza **Vigorous i sur.** (2008.) izdvojili su pet glavnih skupina kukuruza ovisno o geografskoj pripadnosti:

- 1) Ande (*Andean* – Coroico, Bolivija, Peru, Ekvador)
- 2) Tropske nizine (*Tropical lowland* – Haiti/Guatemala, Kuba, Brazil, Venezuela, Kolumbija 1, Meksičke nizine, Kolumbija 2)
- 3) Meksičko pobrđe (*Highland Mexican* – Zapadni, Centralni, Sjeverozapadni)
- 4) Jugozapad SAD-a (*Southwestern US*)
- 5) Sjever SAD-a (*Northern US* – Tvrđunac i Brašnavi 1 i 2, Sjeverni tvrđunac 1 i 2).

U istraživanju **Tenaillon i Charcoseta** (2011.) autori su izdvojili dvanaest glavnih skupina kukuruzne germplazme, od čega su zadnje dvije (*Corn Belt* i *Pyrenées-Galicia*) proizvod hibridizacije koja se dogodila u skorije vrijeme:

- 1) Sjever SAD-a i Kanada (*Northern USA and Canada*)
- 2) Jugozapad SAD-a (*Southwestern USA*)
- 3) Sjeverni Meksiko (*Northern Mexico*)
- 4) Meksičke nizine (*Lowland Mexico*)
- 5) Meksičko pobrđe (*Highland Mexico*)
- 6) Gvatemala i Južni Meksiko (*Guatemala and Southern Mexico*)
- 7) Karibi (*Caribbean*)
- 8) Ande (*Andean*)
- 9) Sjeverni dio Južne Amerike (*Northern South American*)
- 10) Nizine u središnjem dijelu Južne Amerike (*Lowland Middle South American*)
- 11) Kukuruzni pojas (*Corn Belt*)
- 12) Pireneji-Galicija (*Pyrenées-Galicia*)

Mir i sur. (2013) u svome istraživanju izdvajaju sedam skupina kukuruza u Amerikama, prema području u kojemu su bile uzgajane i iz kojih su se širile u druge dijelove svijeta:

- 1) sjeverni američki tvrđunci (*Northern US flints*) – Kanada, Sjedinjene Američke Države, Čile, Argentina
- 2) srednji dio Sjeverne Amerike (*Middle North-America*) – SAD
- 3) meksičko pobrđe (*Mexican highlands*) – Meksiko
- 4) tropske ravnice (*Tropical lowlands*) – Karibi

5) sjeverni dio Južne Amerike (*North South-America*) – Kolumbija, Venezuela

6) Ande (*Andes*) – Ekvador, Peru, Bolivija

7) srednji dio Južne Amerike (*Middle South-America*)

Bedoya i sur. (2017.) istraživali su genetičku raznolikost gotovo 200 populacija kukuruza podrijetlom iz 23 države Latinske Amerike i Kariba te utvrdili tri glavne skupine germplazme:

1) Meksiko i Južne Ande

2) Mezoamerika (nizinski dio)

3) Ande.

Istražujući raznolikost kukuruzne germplazme **Gouesnard i sur.** (2017.) ispitivali su kolekciju od gotovo 1200 inbred linija tvrdunca (genotipizacija sekvencioniranjem) te ih usporedili s linijama iz američke (USDA) banke gena. Utvrdili su sedam glavnih skupina (eng. *ancestral groups*) kojima ispitivane linije pripadaju:

1) Zuban (*Dent*)

2) Sjeverni tvrdunac (*Northern Flint*)

3) Italija (*Italy*)

4) Pireneji-Galicija (*Pyrenées-Galicia*)

5) Argentina

6) Lacaune

7) Kokičar (*Popcorn*)

Kada se razmatra mogućnost adaptacije svjetske germplazme kukuruza na klimatska područja, mogu se izdvojiti dvije osnovne skupine: *kukuruz tropskih područja* (eng. *tropical maize*) i *kukuruz umjerenih područja* (eng. *temperate maize*). U vrijeme kada je kukuruz još uvijek bio ograničen na svoju domovinu Meksiko, sva postojeća germplazma bila je tropskog tipa. Širenjem kukuruza iz Srednje Amerike na druge kontinente započeo je i proces adaptacije na druge klimatske uvjete te se na taj način stvorila druga velika skupina – kukuruz umjerenih područja, što svjedoči o velikoj sposobnosti adaptacije ove biljke (**da Fonseca i sur.** 2015.; **Swarts i sur.** 2017.; **Brandenburg i sur.** 2017.; **Kennett i sur.** 2020.; **Lorant i sur.** 2020.). Vrijedi spomenuti kako se u širem smislu kukuruz tropskih područja poistovjećuje s

egzotičnom germplazmom, a kukuruz umjerenih područja s elitnom germplazmom, no u užem smislu i u elitnoj i u egzotičnoj germplazmi postoje i tropski i umjereni kukuruz. Uspoređujući produktivnost tropskog i umjerenog kukuruza **Osaki** (1995.) je kao tropski kukuruz upotrijebio sorte, a kao umjereni kukuruz hibride. U istraživanju koje je uključivalo tropsku i umjerenu germplazmu **Fan i sur.** (2008.) izdvojili su zasebnu heterotičnu skupinu i novi heterotični obrazac između umjerenog i tropskog (*Suwan 1*) kukuruza. Mnoge studije ispitivale su razlike između tropskog i umjerenog kukuruza (**Holley i Goodman** 1988.; **Uhr i Goodman** 1995.a, b; **Tarter i sur.** 2003.).

Postoji još puno podjela germplazme kukuruza na razne tipove, a neke od njih navedene su u četvrtom dijelu drugog poglavlja o podrijetlu kukuruza *Introdukcija i širenje kukuruza u Starom svijetu*, unutar pripadajućeg konteksta (kontinent, ruta introdukcije i slično).



Slika 98. Varijabilnost kukuruza po boji i veličini klipova – veliki crveni klip i veliki žuti klip u tipu zubana te razni tipovi tvrduca manjeg klipa.

3.2. Germplazma u Sjedinjenim Američkim Državama

Nakon puno uloženog napora u istraživanja i edukaciju te osnivanja raznih relevantnih institucija (detaljnije o tome u četvrtom dijelu ovoga poglavlja), Sjedinjene Američke Države su od početka 20. stoljeća postale centar istraživanja kukuruza, odakle su se proširile glavne spoznaje o genetici i oplemenjivanju kukuruza. Tu leadersku poziciju SAD drže i danas, iako je u zadnjih 30-ak godina prisutan intenzivniji trend suradnje i umrežavanja s institucijama iz mnogih drugih zemalja. Rezultat te suradnje je nastajanje i/ili daljnje razvijanje sve više jakih istraživačkih centara drugdje u svijetu, ponajprije u Europi i istočnoj Aziji, čija je osnovna zadaća istraživanje, ali i edukacija i usavršavanje novih mladih istraživača koji su u najmanju ruku jednako dobri u proučavanju kukuruza kao i njihovi američki kolege.



Slika 99. Tipičan krajolik Srednjeg zapada, Iowa.

Američki Srednji zapad (eng. *Midwest*) velika je regija u Sjedinjenim Američkim Državama koja uključuje 12 saveznih država: Illinois, Iowa, Ohio, Indiana, Kansas, Michigan, Minnesota, Missouri, Nebraska, Sjeverna Dakota, Južna Dakota i Wisconsin (USCB 2016.; Green i sur. 2018.). Omeđena je sa zapada Velikom nizinom (eng. *Great plains*), na sjeveroistoku Velikim jezerima (eng. *Great lakes*), a na sjeveru Kanadom. Oblikovanje i stvaranje ove ključne poljoprivredne regije intenzivnije se nastavilo u 16. stoljeću kako su sve veći valovi europskih doseljenika pristizali u to područje te se uključivali u složene interakcije s drugim narodima (Francuzi, Englezi te veći broj indijanskih naroda) (Hudson 1994.; Clampitt 2015.). Srednji zapad dobrim se

dijelom preklapa s tzv. Kukuruznim pojasom (eng. *Corn Belt*) koji vrijedi kao najproduktivnije područje za uzgoj kukuruza na svijetu, gdje se na ogromnim prostranstvima izmjenjuju nepregledna polja kukuruza i soje (**Grassini i sur.** 2015.). Oko 35 % zasijanih površina Kukuruznog pojasa zauzima kukuruz u monokulturi, a ostalih oko 65 % otpada na dvogodišnji plodored kukuruz-soja (**USDA NASS** 2017.). Razvoj Srednjeg Zapada i Kukuruznog pojasa čini važan dio povijesti SAD-a jer je kukuruz postao (i ostao) najvažnija ratarska kultura te neizostavni dio američkog gospodarstva (**Hardeman** 1981.; **Hudson** 1994.; **Hurt** 2002.). **Shortridge** (1989.) objašnjava ideju Srednjeg zapada i njegovo značenje u američkoj kulturi te navodi kako je kasnih godina 19. stoljeća i ranih godina 20. stoljeća Srednji zapad bio ono što je Amerika zapravo i trebala biti.

U prvoj polovini 19. stoljeća inovator **John Deere** uvodi novinu u dotadašnje poljoprivredne aktivnosti vezane uz obradu zemlje – čelični plug koji je mogao lagano obrađivati zemlju bio je ogromna prednost u odnosu na prijašnje plugove od drugih materijala. Deere je svoj prvi čelični plug prodao 1838. godine, a već 1841. godine proizvodio je 75 čeličnih plugova godišnje, 1843. godine prodao ih je 400, a do 1846. godine distribuirao je svoje plugove po cijelom Srednjem zapadu (**Leffingwell** 2004.). Prvi berač kukuruza priključen na traktor uveden je 1930. godine, a sve veća upotreba hibrida ubrzala je i razvoj mehanizacije pa je 1948. godine u SAD-u radilo oko 300 000 berača, što je ranih 1950-ih dovelo do ere napretka i modernizacije poljoprivredne proizvodnje kukuruza, prvo u centru zbiljanja u Kukuruznom pojasu, a onda i šire (**Colbert** 2000.).

Razvojem farmi i poljoprivrednih aktivnosti unutar Kukuruznog pojasa počeli su rasti i gradovi (**Cronon** 1991.). Krajem američkog Građanskog rata u drugoj polovini 19. stoljeća, Chicago je u samo 80-ak godina narastao od 30 tisuća do tri milijuna stanovnika, postavši tako drugi najveći američki grad, odmah iza New Yorka (**Biles** 2005.). Sprega napredne poljoprivredne proizvodnje, velikog tržišta koje je te proizvode distribuiralo i rastuće (gradske) populacije koje ih je konzumiralo te sve razvijenijih transportnih ruta, Srednji zapad vremenom se pretvorio u najveću svjetsku žitnicu odlično povezanu kako s obližnjim tako i s udaljenim velikim gradovima, stvarajući tako uvjete za razvoj samoga gospodarstva, kulture i društva kroz primarni, a posredno i kroz sekundarni proizvodni sektor.

Daljnijim napretkom u genetici i oplemenjivanju (korištenje hibrida) (**Duvick** 2005.), ali i u agrotehnici i agronomskim praksama (smanjivanje međurednog razmaka sa 102 cm na 76 cm, povećanje količine dušika u gnojidbi s 50 na 120 kg/ha, korištenje modernih kombajna i druge mehanizacije) (**Troyer** 2009.) postignut je veliki napredak u proizvodnji kukuruza u SAD-u 60-ih i 70-ih godina 20. stoljeća, što se pozitivno odrazilo na rast i stabilnost prinosa, u Americi i u svijetu. U ovome dijelu ukratko se navodi i opisuje samo germplazma s kraja 19. i početka 20. stoljeća te osnovni tipovi germplazme u SAD-u. Dio povijesnog dijela o germplazmi u SAD-u nalazi se također u drugim dijelovima ove knjige. Američka germplazma zauzima posebno mjesto u priči o razvoju i širenju kukuruza jer se iz američkih sorata 19. i 20. stoljeća razvio najveći dio moderne, elitne germplazme koja se danas koristi u oplemenjivanju i sjemenarstvu u svim značajnijim ustanovama koje se bave proizvodnjom sjemena, kako u najvećim zemljama tako i u ostalima, poput Hrvatske ili još manjima.



***Slike 100 - 102.** Nepoznate američke populacije (lijevo i desno je tipični Indian corn, a u sredini nešto slično poznatoj sorti *Bloody Butcher*).*

Prema **Atkinsonu i Wilsonu** (1915.) u Sjedinjenim Američkim Državama 1814. godine samo je pet glavnih sorata kukuruza bilo naširoko poznato: *Big Yellow*, *Big White*, *Little Yellow*, *Little White* (sve tvrdunci) te *Gourdseed* (prva popularna sorta koja nije bila tvrdunac), da bi do 1840. godine taj broj narastao na 250, a do kraja 19. stoljeća i do 1000 (**Montgomery** 1916.). Naj-

važnija je rasa kukuruza s vremenom postala sjevernoamerička rasa *Corn Belt Dent* (CBD), što se nije promijenilo do danas, kako u Americi, tako i u svijetu. Čak i unutar samo tog jednog dominantnog tipa kukuruza izražena je velika varijabilnost te se uglavnom iz njega crpe novi materijali za komercijalno oplemenjivanje, što rezultira razvijanjem stotina, čak i tisuća inbred linija godišnje u svijetu. Iako su mnogi znanstvenici izražavali sumnje u opstanak genetičke raznolikosti CBD kukuruza (Lee 1995.) te predlagali intenzivniju upotrebu tzv. egzotične germplazme (Goodman 2005.), do danas se nikakva značajnija genetička erozija nije dogodila, što vjerojatno ima veze s činjenicom da mnogi oplemenjivači i znanstvenici redovno u svoje programe ipak uključuju određeni postotak egzotične germplazme kojom se obogaćuje ionako ogromna i raznolika CBD populacija kukuruza.

Prema Troyeru (2000., 2009.) unutar CBD populacije nalazi se velika većina najpoznatijih sorata (eng. *varieties*) iz kojih je s vremenom nastala komercijalna germplazma u oplemenjivačkim programima, prvo u SAD-u, a potom i u svijetu. Neke od tih sorata su *Bloody Butcher* (nastala u prvoj polovini 19. stoljeća, vjerojatno u saveznoj državi Virginia), *Leaming Corn* (stvarana u saveznoj državi Ohio uzastopnom proizvodnjom i selekcijom najboljih klipova od 1855. do 1885.), *Reid Yellow Dent* (Illinois, 1846.), *Lancaster Sure Crop* (Pennsylvania, 1860. - 1920.), *Chester Leaming* (Illinois, 1895.), *Richey Lancaster* (Illinois, 1888. - 1920.), *Funk Reid* (Illinois, 1900.), *Troyer Reid* (Indiana, 1894. - 1936.), *Minnesota 13* (Minnesota, 1890-e), *Northwestern Dent* (Sjeverna Dakota, 1891. - 1894.), *Iodent Reid* (Iowa, 1909. - 1923.), *Osterland Reid* (Iowa, 1910. - 1920.), *Burr White* (Illinois, 1896.), *Stiff Stalk Synthetic* (Iowa, 1932. - 1934.), *CB Female Composite* (Indiana, 1951.) i drugi (Slika 109). U svom istraživanju raznolikosti germplazme iz američkog Kukuruznog pojasa Labate i sur. (2003.) navode neke od najvažnijih sorata kukuruza u SAD-u: *Bloody Butcher*, *Bowman's Cole Creek*, *Clarage*, *Dawes #2*, *Early Butler*, *Falconer*, *Fulton Yellow Dent*, *Funks Yellow Dent*, *Golden Glow*, *Golden Republic*, *Hays Golden*, *Iowa Ideal*, *Krug*, *Lancaster Sure Crop*, *Leaming*, *Legal Tender*, *Little Briton*, *Longfellow*, *Midland*, *Minnesota 13*, *Northern Wonder*, *Osterland*, *Perkins Yellow Dent*, *Pickett*, *Polar Dent*, *Pride of Saline*, *Reid Yellow Dent*, *Silver King*, *West Virginia Clarage*, *Woodburn*, *Iodent*, *Assiniboine*, *Cheyenne (Concho Brown)*, *Gaspé*, *Sioux (Creek)*, *Winnebago (Yankee Cheat)*, *Gourdseed*, *Jellicorse*, *Tennessee Red Cob*, *White Dent*.

Kada se govori o očuvanju germplazme kukuruza u SAD-u, problem predstavlja činjenica da je većina tzv. domaćeg kukuruza bila relativno brzo zamijenjena hibridnim kukuruzom prije nego što je sustav s programima očuvanja germplazme, odnosno biljnih genetičkih izvora uopće bio razvijen. Na taj način jedan dio sorata nepovratno je izgubljen. Sličan proces vjerojatno se dogodio i u drugim regijama pa i u zemljama bivše Jugoslavije. Prema **Goodmanu i Brownu** (1988.) kukuruz u Sjedinjenim Američkim Državama može se podijeliti na 10 skupina (eng. *racial complexes*):

- 1) sjeverni tvrdunci i brašnavi (*Northern Flints and Flours*)
- 2) tvrdunci i brašnavi Velike nizine (*Great Plains Flints and Flours*)
- 3) Pima-Papago
- 4) jugozapadni poluzubani (*Southwestern Semidents*)
- 5) jugozapadni dvanaestoredci (*Southwestern 12 Row*)
- 6) jugoistočni brašnavi (*Southeastern Flours*)
- 7) južni zubani (*Southern Dents*)
- 8) kombinacija južnih zubana i ostalih rasa (*Derived Southern Dents*)
- 9) jugoistočni tvrdunci (*Southeastern Flints*)
- 10) zubani Kukuruznog pojasa (*Corn Belt Dents*)



Slika 103. Hibridi kukuruza standardnog žutog te crvenkastog i bijelog tipa zrna.



3.3. Germplazma u oplemenjivanju kukuruza

Oplemenjivanje bilja kao primijenjena znanstvena disciplina razvilo se u ključnu aktivnost kojom ljudi stvaraju nove kultivare kulturnog bilja, što predstavlja, barem za sada, svojevrsnu završnu fazu procesa domestikacije. Važnost oplemenjivanja bilja u kontekstu razvoja i funkcioniranja društva teško se može precijeniti (**Burton** 1981.; **Fehr** 1987.; **Borém i sur.** 2002.; **Duvick** 2005.; **Acquaah** 2007.). Koristeći mehanizme prirodne selekcije oplemenjivači iz dostupne germplazme stvaraju (razvijaju) nove sorte i hibride. U slučaju kukuruza može se reći kako komercijalno oplemenjivanje traje od prve polovine 20. stoljeća, točnije od 1930-ih godina kada se ubrzanim tempom u proizvodnji kukuruza počinju introducirati hibridi, prvo u Sjedinjenim Američkim Državama, a onda i dalje u svijetu. Kako živimo u vremenu u kojemu su promjene u svim aspektima društva – pa tako i u gospodarstvu – brže nego ikada u dosadašnjoj povijesti, može se samo nagađati kako će oplemenjivanje bilja izgledati za 50 ili 100 godina (pod uvjetom da zadrži dosadašnji oblik ili da uopće opstane). U svakom slučaju, važnost germplazme u oplemenjivanju bilja, kako zbog načina upotrebe tako i zbog same količine, danas je neusporedivo veća nego u prošlim vremenskim razdobljima.

Glavne etape u procesu oplemenjivanju kukuruza

Oplemenjivanje bilja (eng. *plant breeding*) proces je kojim se korištenjem umjetne selekcije razvijaju novi kultivari kulturnog bilja dobrih svojstava koji odgovaraju određenim ljudskim potrebama. Cilj oplemenjivanja kukuruza je od početnog oplemenjivačkog materijala unutar određenih heterotičnih skupina stvoriti inbred linije s dobrim kombinacijskim sposobnostima koje će biti roditeljske komponente hibridima koji su zapravo finalni proizvod. To je dugotrajan proces – vrijeme dobivanja komercijalnih hibrida iznosi 7 - 10 godina. Prvo je potrebno odrediti ciljane svojstva i preko tih svojstava stvoriti zasebne heterotične skupine s pripadajućim inbred linijama te zatim u najkraćem mogućem roku razviti hibride koji će biti konkurentni hibridima koji su već prisutni na tržištu. Najvažnije svojstvo u oplemenjivanju kukuruza bio je i ostao **prinos zrna**. Iako je već dugo poznato kako prinos kukuruza može dosegnuti (**Warsaw** 1985.), čak i prebaciti 20 t/ha, prosječan prinos u svijetu danas manji je od 6 t/ha (**FAOSTAT** 2023.). Teoretski maksimalan prinos

(eng. *yield plateau*) u normalnim (prosječnim) poljskim uvjetima nije točno određen (Tollenaar 1983.), ali pretpostavlja se da iznosi oko 25 t/ha pa i više. Ostala važna svojstva su stabilnost prinosa, tolerantnost na bolesti i štetnike, otpornost na polijeganje i lom stabljike i druga svojstva kao što su kvaliteta i boja zrna, bujnost lisne mase, omjer udjela stabljike i klipa i druga, ovisno o namjeni. Osnovni mehanizam iza oplemenjivanja bilja je umjetna selekcija pa se može zaključiti da se čovjek već dugo vremena bavi nekom vrstom oplemenjivanja. Početni proces udomaćivanja divljih vrsta – domestikacija – baziran je na umjetnoj selekciji, jer su i prije više tisuća godina ljudi shvatili da moraju odabirati određena svojstva koja se prenose na potomstvo. S vremenom se taj proces domestikacije pretvorio u oplemenjivanje i kasnije u moderno oplemenjivanje kakvo postoji danas. Oplemenjivanje bilja je, dakle, svojevrsni (i za sada) završni čin dugog procesa domestikacije ili kultiviranja bilja korištenjem mehanizama umjetne selekcije.

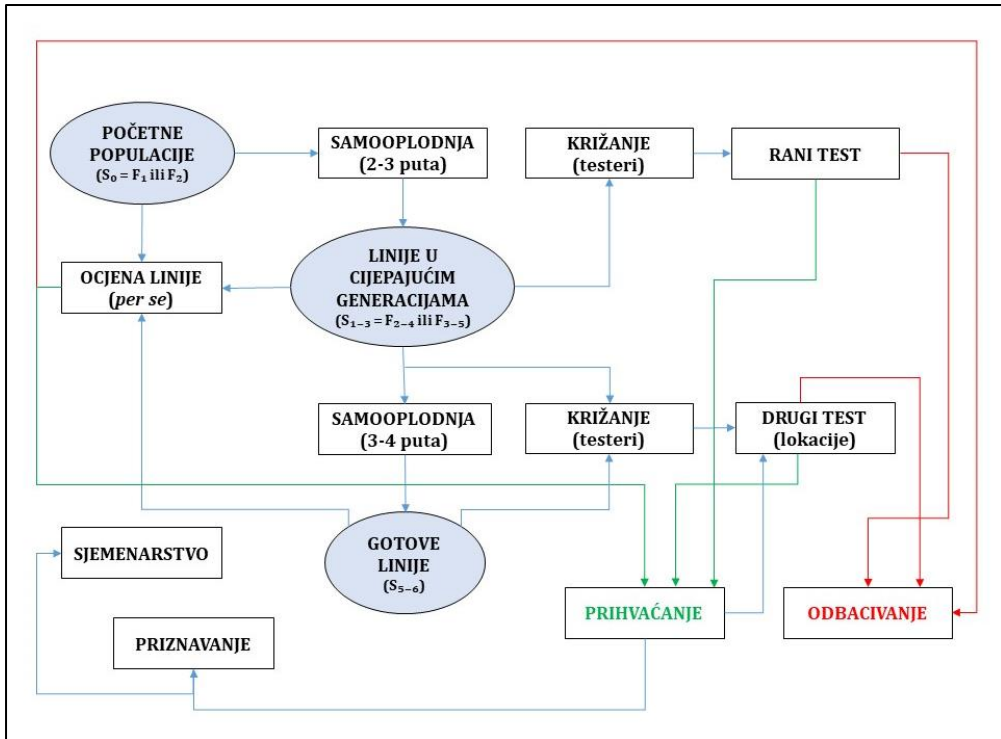
Izbor početnih populacija ili izvora. Prvi korak u oplemenjivačkom procesu podrazumijeva odabir početnih populacija ili izvora. Poželjno je kao početne populacije (označavamo ih kao F_1 , F_2 ili S_0) koristiti elitnu germplazmu jer što se u program ubacuje više egzotičnog, neprovjerenog materijala široke genetičke osnove to se više produljuje sam proces zbog većeg broja biljaka koje se moraju testirati kako bi se pronašla željena svojstva. Isto tako, vrlo je važno osigurati dovoljan broj biljaka po populaciji. Što je veći broj biljaka po jednom izvoru, to je veća vjerojatnost da će se dobiti željeni genotip, međutim, činjenica je i da se prevelikim brojem biljaka može vrlo brzo preoptereti oplemenjivački program. To je i danas jedna od najvažnijih dvojbi za oplemenjivača, dakle broj izvora ili početnih populacija u selekcijskom programu te njihova veličina. Svi oplemenjivači balansiraju svoje programe između granica broja izvora i veličine pojedinog izvora. U praksi, ovisno o oplemenjivaču, metodama rada ustanove i dostupnim resursima, uzima se od 10, 20 pa do nekoliko stotina početnih populacija.

Samooplodnja i testiranja. Kako bi se dobile čiste ili gotove inbred linije na njima je potrebno obavljati samooplodnju (eng. *self-pollination* ili *selfing*, što se zapravo odnosi na oprašivanje svile peludom iste biljke). Samooplodnja se vrši dva (S_2 ili F_3 , F_4) ili tri (S_3 ili F_4 , F_5) puta, nakon čega slijedi rani test (eng. *early testing*) kojim se ispituju opće kombinacijske sposobnosti linija (linije se križaju s nekoliko testera iz suprotnih heterotičnih skupina i iduće

sezone provjeravaju u pokusima iz kojih se dobivaju rezultati testiranja). Za vrijeme testiranja linije treba samooplođivati kako bi se održalo sjeme ukoliko linije prođu na daljnje testiranje. Isto tako, iako su rezultati testiranja najvažnija informacija za oplemenjivača, od samog početka linije se ocjenjuju (i odbacuju) po fenotipu (*per se*), odnosno poželjnim ili nepoželjnim svojstvima koja se manifestiraju tijekom razvoja. Ukoliko linija i po fenotipu i po ranom testu prođe dalje, šalje se na opsežnija testiranja na opće i posebne kombinacijske sposobnosti – što uključuje dodatna ponavljanja i lokacije – i kasnije eventualno na priznavanje u sortnu komisiju te redovnu proizvodnju.

Najčešća metoda dobivanja linija u oplemenjivanju kukuruza je **pedigre metoda** (eng. *pedigree method*). Osim standardnog dobivanja linija jedna od čestih tehnika pri dobivanju linija je i korištenje **duplih haploida** (eng. *doubled haploids* – DH), čime se skraćuje vrijeme dobivanja gotovih linija. Isto tako, vrlo je važno imati **zimsku generaciju sjemena** (eng. *winter nursery*) kojom se mogu dobiti dvije generacije sjemena u istoj sezoni. Zimska generacija sjemena šalje se u zemlje južne hemisfere (Čile, Argentina, Južna Afrika, Novi Zeland) ili u tropske zemlje (Meksiko, Indija, Havaji), gdje se za vrijeme zimskog razdoblja u područjima umjerene, kontinentalne klime sav posao može neometano obaviti. Glede kalendara izvođenja pojedinih aktivnosti, u Čileu primjerice mjesec siječanj odgovara mjesecu srpnju u Hrvatskoj. Kako je oplemenjivanje kukuruza skup i dugotrajan proces, potrebno je svake godine što preciznije alocirati potrebne resurse (primjerice osiguravanje i priprema površina za pokusna i selekcijska polja, zapošljavanje sezonskih radnika za rad u polju i drugo). Zadnjih desetak godina interes za rad u polju je u opadanju, čak i među studentima poljoprivrede, što predstavlja ogroman problem kada je potrebno obaviti neke specifične aktivnosti poput zakidanja metlica u sjemenskoj proizvodnji, oplodnje biljaka na selekcijskim programima i slično.

Sjemenarstvo. Ako prijavljeni hibrid prođe dvije godine ispitivanja u sortnoj komisiji RH, odnosno ako po prinosu i vlazi zrna za odgovarajuću FAO skupinu bude bolji od standarda, uvodi se na sortnu listu i spreman je za proizvodnju i distribuciju na tržište, što je nadležnost stručnjaka koji se bave sjemenarstvom. Sustav državne komisije za priznavanje hibrida sličan je i u mnogim drugim državama, uglavnom u trajanju od dvije (negdje i tri) godine. Proizvodnja sjemena nastavlja se dakle na sam proces oplemenjivanja.



Slika 105. Shema klasičnog oplemenjivanja kukuruza pedigree metodom. Postoji više metoda oplemenjivanja i još više načina na koji se oplemenjivački programi u praksi provode, no ima nekoliko nužnih etapa kako bi se došlo do zacrtanog cilja, a to su dobivanje inbred linija uzastopnim samooplođnjama, križanje linija s pripadajućim linijama testerima iz suprotnih heterotičnih skupina kako bi se kroz poljske pokuse procijenile kombinacijske sposobnosti. Svaka etapa oplemenjivačkog procesa može se više ili manje razlikovati od jedne do druge institucije – izbor početnih populacija, broj i veličina početnih populacija (F_2), dva ili više testiranja, faza u kojoj se materijal testira, broj pokusnih lokacija i ponavljanja i drugo. U svakom modernom oplemenjivačkom programu koristi se pogodnost korištenja zimske generacije sjemena čime se sam proces dobivanja hibrida vremenski drastično smanjuje.

Prema Mikelu i Dudleyju (2006.) u razdoblju od 1980. do 2004. godine čak 77 % komercijalnih inbred linija dobiveno je iz početnih populacija stvorenih križanjem samo dviju roditeljskih linija (eng. *two-parent recombinant population*, što je praktički jednostruki hibrid), 9 % dobiveno je iz populacija dobivenih križanjem dviju linija i povratnog križanja na jednu od njih, 5 % linija dobiveno je iz populacija dobivenih križanjem triju inbred linija (eng. *three-parent recombinant population*, što je praktički trolinijski hibrid), dok je 3 % dobiveno je iz komercijalnih hibrida.

U modernom oplemenjivanju kukuruza nekoliko čimbenika presudno je za uspješno provođenje oplemenjivačkih programa: 1) korištenje elitne germplazme, 2) korištenje zimske generacije sjemena, 3) školovani i usmjereni kadrovi, 4) moderna agrotehnika i mehanizacija. **Andorf i sur.** (2019.) navode pregled prošlosti, sadašnjosti i budućnosti oplemenjivanja kukuruza kroz prizmu nekoliko ključnih aspekata: 1) analiza genoma, 2) raznolikost germplazme i njeno korištenje, 3) transformacije i genomičko uređivanje (eng. *genome editing*), 4) razvoj inbred linija i proizvodnja hibridnog sjemena, 5) razumijevanje i predviđanje prinosa hibrida, 6) oplemenjivačka metodologija i 7) sinteza prilika i izazova u oplemenjivanju kukuruza u budućnosti.



Slike 106 - 107. Izolacija metlice i klipa prije oprašivanja. Za uspješno izvedenu oplodnju klip se izolira najlonskom vrećicom, a metlica koja praši papirnatom, nakon čega se vrši oplodnja, obično dan ili dva poslije zatvaranja metlice.

Prema pripadnosti javnom ili privatnom sektoru inbred linije možemo podijeliti na nekoliko skupina: javne (eng. *public*), linije zaštićene oplemenjivačkim pravima (eng. *breeder's rights*), linije zaštićene patentom (eng. *PVP inbreds*) i inbred linije kojima je istekao patent (eng. *ex-PVP inbreds*).

Oplemenjivačke oznake koje su se stavljale kao dio naziva inbred linija u oplemenjivačkim programima javnih institucija u Sjedinjenim Američkim Državama:

A = Minnesota (A619, A632, A676, A679, A662...)

B = Iowa (B14, B37, B73, B84, B93, B104, B109...)

C = Connecticut (C103...)

De = Delaware

Hi = Hawaii

HP = Indiana

Mo = Missouri (Mo17...)

Mp = Mississippi

N = Nebraska

NC = North Carolina

ND = North Dakota

Oh = Ohio (Oh07, Oh43...)

Pa = Pennsylvania (Pa91...)

R = Illinois

SD = South Dakota

T = Tennessee

Tx = Texas

Va = Virginia (Va99...)

W = Wisconsin (Wf9, W153R...)



Slika 108. Inbred linija A632.

Za razliku od prijašnjih vremenskih razdoblja danas se oplemenjivanje kukuruza većinom odvija u okviru privatnih sjemenskih kuća. Na tržištima gotovo svih država koje se ozbiljnije bave proizvodnjom kukuruza prisutno je i do više stotina komercijalnih hibrida raznih sjemenskih kuća. Najveći udio imaju velike multinacionalne kompanije, ali određeni udio zauzimaju i institucije domaćeg oplemenjivanja poput Poljoprivrednog instituta Osijek i Bc Instituta, d. d. Zagreb u Hrvatskoj, ZP Instituta, NS Semena i AS Hibrida u Srbiji, Poljoprivrednog instituta Martonvásár u Mađarskoj, Hodowla Roślin Smolice u Poljskoj, AgroHolding Kuban u Rusiji i drugih institucija.

Razvojem poljoprivredne proizvodnje i pripadajućih grana gospodarstva dominantni pravac u oplemenjivanju i sjemenarstvu kukuruza bio je smanjivanje broja i okrupnjavanje kompanija koje proizvode sjeme (**Troyer** 2009.). Primjerice u Iowi je 1940. godine bilo oko 500 proizvođača sjemena (**John-**

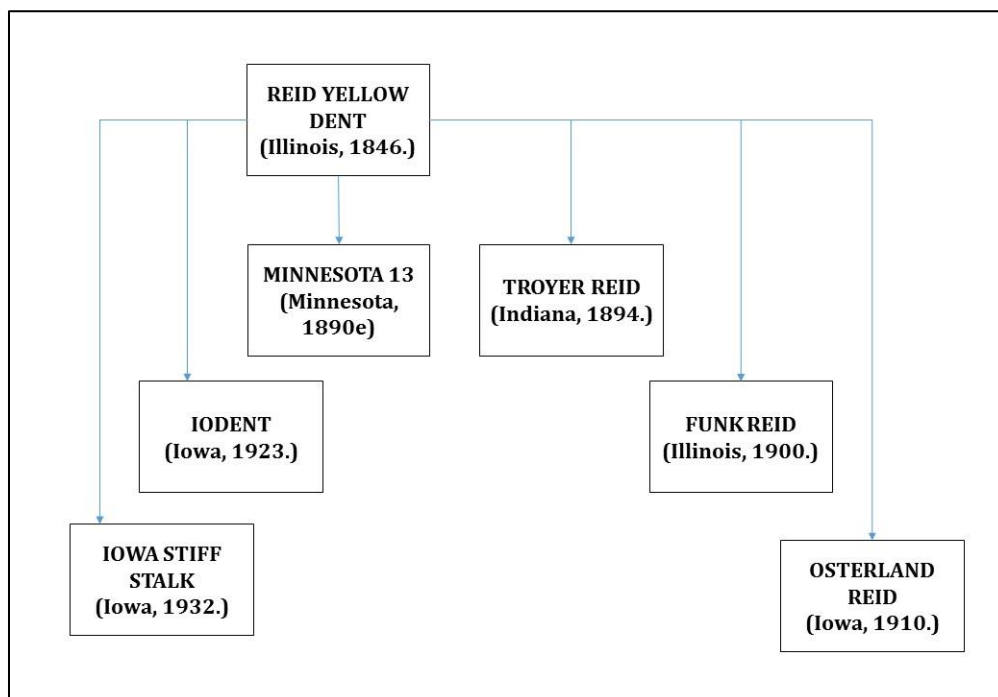
son 1957.), a do 1990. godine taj broj pao je na 40, zatim na 28 do 1997. godine (Troyer 2000.), odnosno 10 do 2006. godine (Anonimno 2006.). Do prije 5 - 6 godina proizvodnjom sjemena i kemijskih sredstava u SAD-u dominirala je tzv. velika šestorka: BASF, Bayer, Dow, DuPont, Monsanto i Syngenta. Prema nekim procjenama oko 70 % hibridnog sjemena kukuruza u SAD-u kontroliraju samo četiri velike sjemenske kompanije (Anderson 2007.), a oko 55 % svjetske proizvodnje i distribucije sjemena pod kontrolom je deset globalnih multinacionalnih korporacija (Seabrook 2007.). Jedan od novijih pokazatelja prirode trendova koji vladaju unutar poslovanja sjemenom i vezanim aspektima poljoprivredne proizvodnje poput kemijskih sredstava za zaštitu bilja bio je događaj iz 2018. godine kada je njemačka kompanija Bayer kupila jednu od najvećih svjetskih kompanija Monsanto.

Prema oplemenjivačkoj vrijednosti germplazma kukuruza dijeli se na dvije glavne skupine: **elitni materijal** (eng. *elite germplasm*) i **egzotična germplazma** (eng. *exotic germplasm*). Ove dvije skupine istovremeno su svojevrsne suprotnosti – elitni materijal ostvaruje visoke srednje vrijednosti za željena svojstva, ali ima smanjenu varijabilnost, dok je kod egzotične germplazme suprotno, dakle ne ostvaruju se visoke srednje vrijednosti, ali je raspon variranja veći. Razvojem oplemenjivanja kukuruza kao znanstvene i stručne discipline sve se više razvijala i elitna germplazma, u početku na državnim sveučilištima, a kasnije sve više u privatnim kompanijama. Elitna germplazma prvenstveno se odnosi na vrhunske inbred linije dobrih kombinacijskih sposobnosti, koje se kombiniraju (križaju) ovisno o pripadnosti pojedinim heterotičnim skupinama, kako bi se razvili novi izvori za oplemenjivačke populacije, iz njih nove linije i u konačnici hibridi. Od elitnog materijala uvijek se zahtijevaju visoke srednje vrijednosti, ali egzotična germplazma nositelj je (dodatne) varijabilnosti, stoga se određeni postotak egzotične germplazme povremeno unosi u elitne oplemenjivačke programe kako se varijabilnost i genetička osnova oplemenjivačkih populacija ne bi previše smanjili (Salhuana i sur. 1994.; Goodman 1999., 2005.; Balint-Kurti i sur. 2006.). Mnogi oplemenjivači i znanstvenici bili su zabrinuti zbog potencijalnog osiromašenja genetičke osnove germplazme korištenjem snažne, vrlo precizno usmjerene selekcije koja konstantno stvara pritisak prema smanjenju varijabilnosti, no nakon više desetljeća komercijalnog oplemenjivanja to se u nekim većim razmjerima nije dogodilo. Prema nekim procjenama samo oko 5 % germplazme kukuruza koristi se komercijalno (Mladenović-Drinić i sur.

2012.). Dakle, varijabilnost koja se koristi u komercijalnom oplemenjivanju tek je mali dio sveukupne varijabilnosti kukuruza kao kulture, ali je i unutar samo ove jedne glavne rase kukuruza (*Corn Belt Dent*) varijabilnost svejedno vrlo visoka, što olakšava posao oplemenjivačima koji više ne moraju previše ovisiti o obogaćivanju oplemenjivačkih populacija neprovjerenom egzotičnom germplazmom, što je dugotrajan i skup proces. Kada se govori o stvaranju elitne oplemenjivačke germplazme, osamdesetih godina prošloga stoljeća počinje ubrzaniji prijelaz iz državnog prema privatnom sektoru. Elitna germplazma većinom pripada CBD skupini i podijeljena je u nekoliko **heterotičnih skupina** (eng. *heterotic groups* ili *heterotic pools*). Dakle, inbred linije podijeljene su na heterotične skupine prema svojim kombinacijskim sposobnostima, odnosno svaka linija koja pripada nekoj heterotičnoj skupini najbolje kombinira s linijom iz neke suprotne heterotične skupine. Takve uspješne kombinacije linija iz različitih heterotičnih skupina zovu se **heterotični obrasci** (eng. *heterotic patterns*).

Glavne heterotične skupine danas su *Iowa Dent* (ID), *Lancaster Sure Crop* (LSC), *Ohio* (Oh) i *Iowa Stif Stalk Synthetic* (BSSS), a neki autori dodaju i novije skupine nastale dobivanjem linija uvođenjem egzotičnog materijala (*Maíz Amargo* – MA) te dobivanjem linija iz komercijalnih hibrida (*Commercial Hybrid Derived* – CHD) (Mikel i Dudley 2006.; Tablica 33). Osim navedenih postoji i niz manjih skupina koje više ili manje kombiniraju s ostalima, kao što su *Minnesota 13* i druge. Isto tako, gotovo svaka heterotična skupina može se podijeliti na više ili manje podskupina ili familija (primjerice skupina BSSS može se podijeliti na podskupine B73, B37 i B14). Neke skupine imaju užu genetičku bazu od drugih (primjerice skupina ID daleko je uža od skupine BSSS, unutar koje se čak mogu dobiti i hibridi uslijed znatnog heterotičnog učinka). Gotovo sve heterotične skupine nastale su iz više ili manje zastupljenih sorata koje su se od 19. stoljeća uzgajale na području američkog Srednjeg Zapada, ali i šire. Iako je za oplemenjivače idealna varijanta kada bi linije u pripadajućim heterotičnim skupinama bile čisti tipovi, to u praksi često nije tako jer mnoge linije sadrže manje ili više genetičkog materijala linija iz drugih heterotičnih skupina. To se jasno može vidjeti nakon genotipizacije – neke linije gotovo su potpuno čiste, ali isto tako, mnoge su dosta ili potpuno miješane. Zato je bitno naglasiti da su heterotične skupine značajne samo okvirno, podložne su mijenjanju i nemaju jasne međusobne granice, iako u praktičnom oplemenjivanju još uvijek predstavljaju presudan

alat koji oplemenjivači koriste pri izboru roditeljskih komponenata u formiranju novih oplemenjivačkih populacija ili pri testiranju linija na kombinacijske sposobnosti za prinos zrna i druga svojstva.



Slika 109. Podrijetlo važnijih sorata i heterotičnih skupina dobivenih iz sorte Reid Yellow Dent (prema Troyeru 2009.).

Mnogi autori navode razne podjele germplazme kukuruza (Tablica 33). **Goodman** (1990.) ističe šest važnih inbred linija na kojima počiva cijela struktura komercijalne germplazme u SAD-u, tri linije tipa Reid (A632, B37 i B73) te tri tipa Lancaster (C103, Mo17 i Oh43). **Troyer** (1999.) dijeli germplazmu na pet različitih skupina: Reid Yellow Dent s podskupinama Iodent Reid i BSSS; Minnesota 13 s podskupinama W153R i SD105; Northwestern Dent s podskupinama A48, A509 i A78; Lancaster Sure Crop s podskupinama Mo17 i Oh43; Leaming Corn s podskupinom Oh07. Prema istom autoru (Troyer 2004.), oko 47 % elitnih američkih inbred linija (i hibrida) podrijetlom je bilo iz sorte Reid Yellow Dent, oko 13 % iz sorte Minnesota 13, oko 13 % iz sorte Lancaster Sure Crop, 5 % iz sorte Northwestern Dent, 5 % iz sorte Leaming corn i 17 % iz ostalih sorata. Prema podacima **MBS Inc.** (1999.) od glavnine inbred linija dostupnih u američkim sjemenskim kompa-

nijama samo je 22 % po genetičkoj osnovi bilo drugačije od osam tada najviše korištenih linija (B14, B37, B73, B84, Mo17, C103, Oh43 i H99), dakle krajem 20. stoljeća ovih osam linija predstavljalo je veliku većinu genetičke osnove cijele tadašnje industrije sjemena kukuruza u SAD-u.



Slike 110 - 112. Inbred linije Oh43 (lijevo), C103 (sredina), Mo17 (desno). Oh 43 jedna je od temeljnih linija na kojima je stvorena heterotična skupina Ohio, a Mo17 je najvažnija linija na kojoj je stvorena heterotična skupina Lancaster.

Lu i Bernardo (2001.) dijele germplazmu kukuruza na dvije glavne skupine, BSSS i non-BSSS, dok **Gethi i sur.** (2002.) navode tri glavne skupine: *Reid Yellow Dent*, *Lancaster* i treća, miješana skupina. Prema **Mikelu i Dudleyju** (2006.) temeljne heterotične skupine su BSSS, *Iodent*, *Lancaster* i četvrta miješana skupina u koju pripadaju MA i CHD. **Mikel** (2008.) je u svom istraživanju o genetičkoj raznolikosti germplazme zubana Sjeverne Amerike istraživani materijal podijelio prema **Luu i Bernardu** (2001.) te je unutar BSSS skupine (eng. *cluster*) izdvojio četiri glavne familije (B73/B14, B73/B37, B73/Amargo i B14/B73/Amargo), a unutar Non-BSSS skupine pet glavnih familija (Misc/Oh43, Mo17/LH123, LH82, Oh07/Midland/Female Composite, i *Iodent*). *Cluster* analiza napravljena je na osnovu različitosti (eng. *dissimilarity*) 55 inbred linija roditelja korištenih u 47 važnih komercijalnih hibrida tvrtki Holden's i Pioneer koji su priznati od 1995. do 2001. godine. Heterotične skupine inbred linija također se okvirno dijele na majčinske poput BSSS i očinske poput non-BSSS (**Tracy i Chandler** 2006.).



Slike 113 - 115. Najvažnije familije heterotične skupine BSSS: inbred linije B73 (lijevo), B37 (sredina) i B14 (desno); iako zbog utjecaja godine oplodnja nije savršeno uspjela pa je vrh klipa kod sve tri linije ostao neoplodan, jasno se vide morfološke razlike koje razdvajaju ova tri tipa linija.

Tablica 33. Podjela germplazme kukuruza po heterotičnim skupinama ili familijama inbred linija prema raznim autorima

Podjela	Autor
A632, B37, B73, C103, Mo17, Oh43	Goodman (1990.)
RYD, Minnesota 13, ND, LSC, LC	Troyer (1999.)
BSSS, non-BSSS	Lu i Bernardo (2001.)
RYD, Lancaster, drugo	Gethi i sur. (2002.)
BSSS, Iodent, Lancaster, miješano (MA, CHD i drugo); B73, Mo17, PH207, PHG39, LH123Ht, LH82, PH595	Mikel i Dudley (2006.)
B73, Mo17, PH207, A632, Oh43, B37, miješano	Nelson i sur. (2008.)
BSSS, Non-BSSS	Lu i sur. (2009.)
BSSS (B14, B37, B73), non-BSSS (Iodent, Oh43, Mo17, drugo)	Bernardo (2014.)
BSSS, Iodent, non-BSSS	Beckett i sur. (2017.)



Slike 116 - 119. Neke inbred linije Poljoprivrednog instituta Osijek u tipu Iowa Stiff Stalk (lijevo gore i dolje, desno dolje) i Lancaster Sure Crop (desno gore) (Josip Brkić).

Na certifikatima za priznavanje inbred linija u Sjedinjenim Američkim Državama (*United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, Science and Technology, Plant Variety Protection Office*) navedeno je sedam osnovnih tipova zrna: šećerac, zuban, tvrdunac, škrobni, kokičar, ukrasni (eng. *ornamental*) i kukuruz za izradu lula (eng. *pipe corn*). Za usporedbu inbred linija navedeno je nekoliko osnovnih skupina s tipičnim familijama i linijama:

Žuti zuban (eng. *yellow dent*), glavne familije s nekim poznatim linijama

B14 (CM105, A632, B64, B68)

B37 (B37, B76, H84)

B73 (N192, A679, B73, NC268)

C103 (Mo17, Va102, Va35, A682)

Oh43 (A619, MS71, H99, Va26)

WF9 (W64A, A554, A654, Pa91)

Žuti zuban, ostalo (eng. *yellow dent unrelated*)

Co109, ND246, Oh7, T232, W117, W153R, W182BN

Bijeli zuban (eng. *white dent*)

CI166, H105, Ky228

Šećerac (eng. *sweet corn*)

C13, Iowa5125, P39, 2132

Kokičar (eng. *popcorn*)

SG1533, 4722, HP301, HP7211.

Coffman (2018.) i **Coffman i sur.** (2019.) na osnovu pregleda važnije literature predstavljaju dvanaest inbred linija iz kojih je nastala većina komercijalne germplazme, a to su PH207, A632, B14, B37, B73, LH123Ht, LH82, Mo17, Oh43, Oh7, PHG39 i Wf9 (**Beckett i sur.** 2017.; **Mikel** 2008., 2011.; **Mikel i Dudley** 2006.; **Nelson i sur.** 2008.; **Romay i sur.** 2013.; **Smith** 2007.; **van Heerwaarden i sur.** 2012.). Iako se u više navrata pokušalo pojednostavniti i na neki način standardizirati heterotične skupine, do danas je to ostala vrlo fleksibilna kategorija. Čak se može primijetiti da se kao izvori za nove cikluse selekcije sve češće koriste kombinacije koje su nove, prethodno

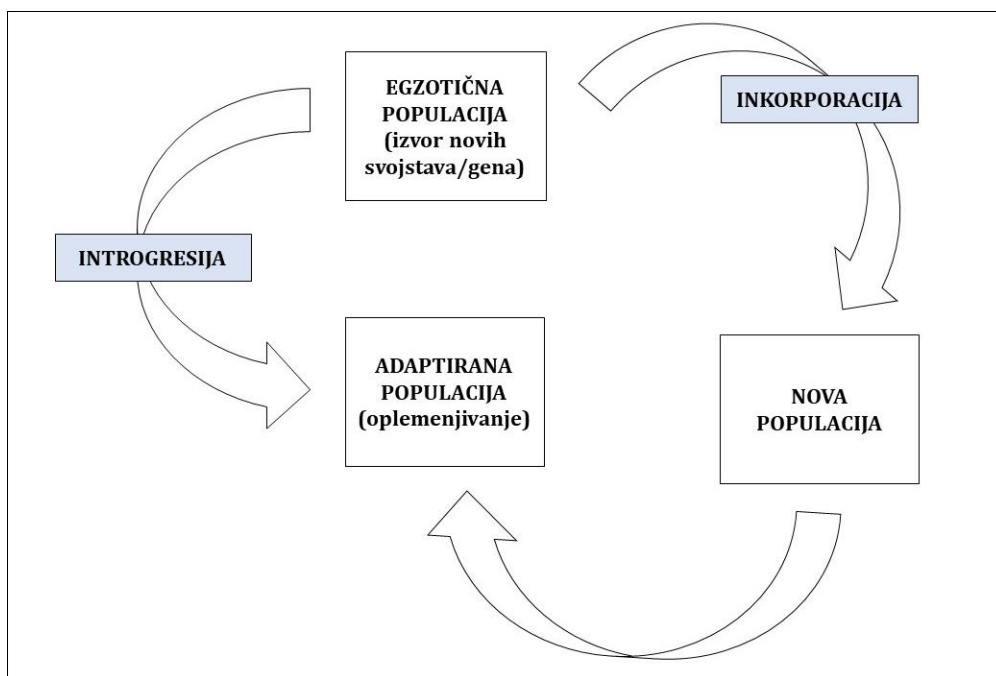
neispitane, a u prošlosti su često bile i upitne. Pokazalo se i da linije iz pomiješanih heterotičnih skupina mogu proizvesti dobar prinos ukoliko im se nađe odgovarajuća suprotna linija (npr. često je miješanje linija iz skupine OH i ID, a dobivena se linija onda križa s B37 tipovima kako bi se dobio hibrid). Vrijedi istaknuti kako praktična oplemenjivačka logika i iskustvo često ne slijede do kraja genetičke podatke dobivene genotipizacijom pa se u diskusijama često komentiraju pojedini slučajevi koji, uzevši oba aspekta, nisu posve jasni. Primjerice, jasno je da linija koja je po geneotipu čisti B73 dobro kombinira s linijom koja je čisti Mo17, ali konstantno su prisutni slučajevi miješanih linija koje imaju genetičku konstituciju sastavljenu od kombinacije nekoliko heterotičnih skupina, ali koje ipak kombiniraju prema zakonitostima koje je teško precizno utvrditi samo po iskustvu. Ovo sve jasno pokazuje kako su heterozis i kombinacijske sposobnosti linija još uvijek jednim dijelom nepoznanica koju treba dodatno istraživati. Koliko je god oplemenjivačima lakše raditi s tzv. čistim skupinama, potpuno čistih heterotičnih skupina zapravo nema. Stoga, kako je već rečeno, koncept heterotičnih skupina i obrazaca, iako najvažniji putokaz u praktičnom oplemenjivanju, ostaje i dalje samo orijentacijska kategorija.



Slika 120. Još jedan primjer velike varijabilnosti kukuruza: 10 klipova na slici potječu od potpuno crvenog zubana (populacija iz SAD-a, klip sasvim lijevo): izdvojeno je 16 crvenih zrna, posijano u jedan red i ostavljeno u slobodnoj oplodnji, a rezultat je bio 11 potpuno crvenih klipova (iako drugačijeg tipa) te 7 šarenih klipova.

Načini uvođenja egzotične germplazme u elitni materijal

Potreba uvođenja egzotične germplazme u elitni oplemenjivački materijal javila se zbog potrebe proširivanja (ili straha od sužavanja) genetičke osnove. Prema **Simmondsu** (1993.), **introgresija** (eng. *introgression*) je uvođenje manjeg broja ciljanih svojstava (gena) iz egzotične populacije u neku već adaptiranu populaciju križanjima i povratnim križanjima na adaptiranog roditelja, uz obaveznu selekciju, a **inkorporacija** (eng. *incorporation* ili *base broadening*) stvaranje lokalno adaptiranih populacija koje su dovoljno dobre za širu upotrebu u ranije adaptiranoj germplazmi. Razlika u odnosu na introgresiju je što se ovdje uvode cijele populacije, a ne geni za određena svojstva. Oba postupka (procesa) služe za uvođenje novih svojstava u adaptirane populacije, odnosno proširivanje njihove genetičke osnove, čime se daje doprinos očuvanju genetičke raznolikosti. **Integracija** (eng. *integration*) je uvođenje određenih svojstava u populaciju, slično introgresiji samo općenitije, odnosno s većim brojem populacija, a **introdukcija** (eng. *introduction*) je općenito uvođenje gena (svojstava) ili populacija u neku novu populaciju (sva tri gore navedena načina pripadaju introdukciji).



Slika 121. Načini uvođenja novih svojstava u adaptirane populacije germplazme, prema **Simmondsu** (1993.).

Osnovni oplemenjivački postupak kojim se u neki materijal pokušavaju uvesti novi geni (svojstva) je **križanje**. U slučaju potrebe unošenja poželjnog svojstva iz egzotičnog materijala u elitni (npr. otpornost na hladnoću i slično), potrebno je osigurati određeni broj povratnih križanja kako bi se razvoj materijala usmjerio na elitni materijal. Kako je praktički kompletna elitna germplazma podrijetlom od *Corn Belt Dent* tipa kukuruza nastala u uvjetima umjerene klime, tropska germplazma u našim uvjetima većinom se automatski svrstava u egzotični materijal, iako je u tropskom području ova kategorizacija drugačija – sva germplazma je tropska, a dijeli se također na elitnu i egzotičnu*. Puno istraživanja provedeno je kako bi se ispitala mogućnost introgresije i inkorporacije egzotičnog materijala u elitni, ali i tropskog materijala u umjereni (**Godshalk i Kauffmann** 1995.; **Tanksley i Nelson** 1996.; **Bosch i sur.** 2003.; **Whitehead i sur.** 2006.).

Lewis i Goodman (2003.) utvrdili su kako se tropska germplazma dosta brzo može inkorporirati u oplemenjivački materijal umjerene klime kako bi se dobile inbred linije čija će agronomska svojstva biti na potrebnoj razini. Introdukcija novih, poželjnih svojstava iz velikog bazena egzotične germplazme ostaje potencijalno veliki izvor za poboljšanje i proširenje genetičke osnove komercijalne germplazme (**Goodman** 1999., 2005.). Osnovne prepreke predstavlja činjenica da je takva introdukcija dugotrajan i skup proces. Komentirajući razvoj germplazme, jedan profesor koji se zalagao za veću upotrebu egzotične germplazme priznao je kako je traženje poželjnih svojstava unutar toga ogromnog područja poput traženja dragocjenog kamenja u rudniku. Kamenje je tamo negdje, ali treba puno rada i vremena kako bi se izdvojila tek mala količina. To je jedan od glavnih razloga zašto se u komercijalnom oplemenjivanju većinom koristi recikliranje postojećih elitnih linija kako bi se dobilo nove. **Mikel** (2006.) naglašava važnost elitne germplazme kao i mogućnost osvježavanja oplemenjivačkih programa tzv. *ex-PVP* elitnim linijama kojima je istekao patent pa su time postale javno dostupne za istraživanje i oplemenjivanje. Nakon analize strukture populacije i genetičke divergentnosti 92 *ex-PVP* inbred linije **Nelson i sur.** (2008.) navode ih kao potencijalne izvore germplazme za buduće oplemenjivačke programe.

* *Pojšnjenja pojmova egzotične, tropske, elitne i umjerene germplazme, koji se, ovisno o kontekstu, drugačije koriste, nalaze se, u okviru ovoga poglavlja, ranije u tekstu.*

Beckett i sur. (2017.) proučavali su genetičku strukturu populacije koristeći set od 349 elitnih inbred linija (283 *ex-PVP* i 66 javno dostupnih linija) te zaključili kako poznavanje genetičkih poveznica i razlikovanje populacija elitne germplazme pomaže oplemenjivačima održavati, a potencijalno i povećati genetičku dobit, odnosno agronomsku učinkovitost. Gledano iz perspektive oplemenjivanja bilja, elitna germplazma presudan je izvor za stvaranje novih oplemenjivačkih populacija. Danas se više nije moguće ozbiljno baviti oplemenjivanjem kukuruza bez korištenja elitne germplazme. Ipak, slučajevi kao što je epidemija paleži lista (*Bipolar maydis*) – koja je zbog pretjeranog oslanjanja na *cms-T* (*Texas male sterile*) linije u sjemenskoj proizvodnji 1970. i 1971. godine u SAD-u uništila čak oko 15 % usjeva i prouzročila oko milijardu američkih dolara štete (**Bruns** 2017.) – pozivaju na oprez i pokazuju kako se o širini genetičke osnove germplazme mora ozbiljno voditi računa. Relativno novi koncept koji pokušava povezati biljne genetičke izvore s oplemenjivanjem i na taj način omogućiti napredak u oplemenjivanju uz proširenje genetičke osnove naziva se *predoplemenjivanjem* (eng. *pre-breeding*) (**Marshall** 1989.; **Nass i Paterniani** 2000.). Više o očuvanju germplazme i važnosti genetičke raznolikosti napisano je u petom dijelu ovoga poglavlja (*Značaj očuvanja germplazme*).



Slika 122. Neke inbred linije u tipu žutog zubana i dvije populacije iz SAD-a i Meksika.



3.4. Istraživanja u genetici i oplemenjivanju kukuruza

U ovome dijelu poglavlja naglasak je stavljen na istraživanja u genetici, oplemenjivanju, a posredno i u nekim drugim znanstvenim disciplinama, dok su istraživanja o podrijetlu i evoluciji germplazme uglavnom navedena u drugom poglavlju o podrijetlu i širenju kukuruza. Kroz opis znanstvenih otkrića i napredovanja znanstvene misli vezane uz istraživanje kukuruza ukratko su opisani i doprinosi pojedinih istraživača, odnosno institucija. Kada se razmatra istraživanje kukuruza primjećuju se razlike u pristupu istraživanjima nekada i danas kada je cijeli znanstveni proces znatno detaljniji, uz korištenje puno više uzoraka po pojedinom istraživanju i generiranje velike količine informativnih podataka po jedinici vremena (eng. *high throughput*) te često umrežavanje s drugim disciplinama (eng. *multidisciplinarity*), što je posljedica (ali zapravo i uzrok) znanstvenog i tehnološkog napretka. Primjerice, u vremenu prije najranijih istraživanja o kukuruzu se znatno manje znalo, broj istraživača bio je daleko manji, a mnoge spoznaje temeljile su se na iskustvima i predajama, ne na precizno postavljenim pokusima preko kojih se dolazilo do vrijednih novih spoznaja. S vremenom su mnoga od tih ranih istraživanja postala svojevrsni kameni temeljci (eng. *cornerstones*) za nove generacije. Sličan proces dogodio se zapravo i s većinom drugih znanstvenih područja. Samo oplemenjivanje kukuruza svojevremeno je bilo cijelo jedno novo polje u kojemu su provođena brojna istraživanja na raznim sveučilištima, institutima i eksperimentalnim stanicama, dok je danas najvećim dijelom ograničeno kao komercijalna aktivnost privatnih kompanija.

Danas se o kukuruzu puno toga zna, a kukuruz predstavlja svojevrsni biljni model (eng. *model plant*) u mnogobrojnim različitim istraživanjima drugih biljnih vrsta, ne samo u oplemenjivanju i genetici, nego i u drugim vezanim znanstvenim disciplinama (**Hake i Ross-Ibarra 2015.**; **Nannas i Dawe 2015.**). Ono što je nekada bilo istraživanje u oplemenjivanju (i drugim granama istraživanja o kukuruzu pojedinačno) vremenom je preraslo u multidisciplinarno istraživanje kukuruza kao biljke, što podrazumijeva kombiniranje znanstvenih metoda, umrežavanje s drugim znanstvenim institucijama i timovima, suradnju na raznim projektima, korištenje različitih baza podataka i drugo. Takvo je sveobuhvatno istraživanje biljnih vrsta vremenom preraslo u veliko područje koje smo nazvali biljnim znanostima (eng. *plant science*). Kukuruz je najviše istražena biljka u genetici i oplemenjivanju bilja te već

odavno služi kao svojevrsna baza podataka za razna druga istraživanja. Već od polovine 19. stoljeća zabilježena su značajna istraživanja vezana uz genetiku te prirodnu i umjetnu selekciju biljaka. Daljnjim razvojem znanosti i otkrićem nekih važnih procesa i zakonitosti (dvostruka oplodnja, ksenije, citologija kromosoma i drugo), početkom 20. stoljeća otvara se novo razdoblje u istraživanju genetike, citologije i fiziologije kukuruza, koje kulminira korištenjem markera, analizama lokusa kvantitativnih svojstava te raznim novim metodama istraživanja (genomika, ionomika, proteomika, transkriptomika i drugo), od kojih mnoge zapravo više nisu ni nove ni revolucionarne. Znanstvene metode danas se sve brže prilagođavaju, nadopunjuju, usavršavaju, ali i potpuno mijenjaju, što omogućuje puno brže stvaranje velikog broja podataka, odnosno opsežnija istraživanja i veći razvoj znanosti kao vodećeg mehanizma pomoću kojega spoznajemo svijet oko sebe.

Usljed vrlo brzog kolanja informacija i novih spoznaja, mnogi povijesni pregledi i zapisi se revidiraju, nadopunjuju pa čak i mijenjaju, stoga je i ovaj pregled istraživača i institucija zaslužnih za razvoj znanosti o genetici i oplemenjivanju kukuruza nepotpun. Kada bismo ovo veliko područje htjeli potpuno predstaviti, morala bi se napisati enciklopedija u nekoliko svezaka, a opet bi se teško sve pokrilo jer se znanost razvija iz dana u dan i sve brže povećava količinu znanja i spoznaje kojom raspolazemo. Dio informacija o pojedinačnim znanstvenicima navedenim ovdje preuzet je iz specijalizirane knjige pod nazivom *Genetika i oplemenjivanje kukuruza u 20. stoljeću* (*Mai-ze genetics and breeding in the 20th century*), urednika Petera A. Petersona i Angela Bianchija. U narednom pregledu kronološkim slijedom navedena su neka od najvažnijih otkrića u istraživanju genetike i oplemenjivanja kukuruza, znanstvenici/istraživači koji su u njima sudjelovali, kao i institucije unutar kojih djeluju, a prije toga – također kronološkim slijedom – navedeni su i kratko objašnjeni neki osnovni genetički koncepti i pojmovi na kojima počiva današnja znanost o živom svijetu. Detaljnije o nekim važnim pojmovima napisano je (a ponešto i ponovljeno) u pojmovniku na kraju knjige.

Teorija evolucije jedna je od najvažnijih teorija u povijesti čovječanstva, a s vremenom je prerasla u jednu od najvažnijih činjenica. Svojevrsna antiteza prevladavajućem kreacionizmu 19. stoljeća postat će jedna od najvećih utvrda znanstvene misli. Ideja o postanku vrsta, odnosno specijaciji (eng. *speciation*) mehanizmima prirodnog odabira (eng. *natural selection*) predstavljala

je pravu revoluciju, ali generiranjem novih dokaza revolucija je potvrdila evoluciju. Poznati engleski znanstvenik i prirodoslovac **Charles Darwin** svojim je istraživanjima u 19. stoljeću postavio temelje za razvoj znanosti o evoluciji, ali i za razvoj oplemenjivanja bilja kao znanstvene discipline. U svome najpoznatijem djelu *O podrijetlu vrsta* (*On the origin of species*) iznosi svoju teoriju evolucije (**Darwin** 1859.) koja se uspješno može primijeniti kroz principe umjetne selekcije (osnovni pokretački mehanizam u oplemenjivanju bilja, a šire gledano i u procesu domestikacije). Općenito gledajući, Darwinov doprinos u razvoju znanstvene misli teško se može precijeniti (**Ayala** 2009.), iako je u njegovo vrijeme bilo i drugih istraživača koji su se bavili istom tematikom (npr. Alfred Russell Wallace i drugi).

Mendelovi zakoni nasljeđivanja zakoni su o nasljeđivanju svojstava koje je otkrio austrijski znanstvenik i redovnik Gregor Mendel u drugoj polovini 19. stoljeća (**Mendel** 1865.). Prvi zakon odnosio se na dominantnost i uniformnost F₁ generacije (eng. *dominance and uniformity*), drugi zakon na cijepanje svojstava (eng. *segregation*), a treći na neovisno nasljeđivanje alela (eng. *independent assortment*). Nakon što je Mendel opisao mehanizam nasljeđivanja, prošlo je nekoliko desetljeća dok se to epohalno otkriće nije počelo više istraživati i primjenjivati.

Kromosomi (eng. *chromosomes*) su skupine makromolekula u jezgri stanice koji sadrže nasljednu tvar. Sastoje se od deoksiribonukleinske kiseline ili DNK, ribonukleinske kiseline ili RNK i proteina. **Kromosomska teorija** (eng. *chromosome theory*) ili Boveri-Sutton teorija je genetička teorija o kromosomima kao nositeljima nasljedne tvari. Neovisno su je otkrili Walter Sutton i Theodor Boveri početkom 20. stoljeća (**Sutton** 1903.). **Benson** (2001.) stvaranje kromosomske teorije opisuje kao zajednički rad više neovisnih istraživača: Gregor Mendel, Charles Darwin, Hugo de Vries, Wilhelm Waldeyer, August Weissman, Edmund B. Wilson, Walter Sutton, Wilhelm Johanssen pa sve do Thomasa Hunta Morgana koji je eksperimentalno dokazao ovu važnu teoriju provodeći istraživanja na vinskih mušicama (**Morgan i sur.** 1915.). Prema **O'Connor i Miko** (2008.) stvaranje kromosomske teorije počelo se odvijati usporedno s Mendelovim i Darwinovim predloženim teorijama o načinima nasljeđivanja. Polovinom 19. stoljeća njemački anatom Walther Flemming svojim istraživanjima donosi vrijedne spoznaje o prirodi kromosoma, njihovom kretanju u mitozu te diobi stanice. Krajem 19. stoljeća

njemački embriolog Theodor Boveri dokazuje kromosome kao prenositelje nasljednih svojstava u sljedeću generaciju, dok je američki student Walter Sutton potvrdio Mendelove postavke i produbio znanje o kromosomima novim spoznajama. U konačnici, tijekom ranih godina 20. stoljeća Thomas Hunt Morgan sa suradnicima eksperimentalno je dokazao kromosomsku teoriju.

Gen (eng. *gene*) je osnovna jedinica nasljeđivanja, a zapravo odsječak ili niz nukleotida na DNK koji sadrži kod za sintezu proteina. Pojmove gen, genotip i fenotip skovao je danski genetičar Wilhelm Johannsen (**Johannsen** 2014.). Geni su podložni mutacijama, koje su jedna od osnovnih pokretačkih sila evolucije, a kojima nastaju različite varijante gena koje se nazivaju **alelima** (eng. *allele*). U slučaju da su oba alela u okviru jednoga gena na homolognim kromosomima jednaka, kaže se da je organizam homozigotan (eng. *homozygous*), a u slučaju da su aleli različiti takav organizam se naziva heterozigotnim (eng. *heterozygous*). Po načinu nasljeđivanja (eng. *heredity*) geni (aleli) mogu biti dominantni i recesivni. Fenotipska svojstva u konačnici ovise o kombinaciji alela, načinu nasljeđivanja i utjecaju okoline. Jedan gen može utjecati na jedno svojstvo, ali puno češći su slučajevi kada više gena utječe na jedno svojstvo, što karakterizira kvantitativna svojstva (eng. *quantitative* ili *polygenic traits*) ili kada jedan gen utječe na više svojstava, što je fenomen koji se naziva pleiotropija (eng. *pleiotropy*). **Genom** (eng. *genome*) je sveukupnost genetičkog materijala u stanici.

Mitoza (eng. *mitosis*) je dioba tjelesnih stanica, a **mejoza** (eng. *meiosis*) je dioba spolnih stanica pri čemu nastaju **gamete** (eng. *gametes*; kod biljaka peludna zrnca i jajne stanice, kod čovjeka i mnogih životinja spermiji i jajne stanice). Za vrijeme mejoze događa se izmjena dijelova kromatida između homolognih kromosoma (eng. *crossing over*) (**Creighton i McClintock** 1931.), a taj prirodni fenomen jedna je od ključnih točaka genetičke rekombinacije kojim nastaju potpuno nove varijante gena (alela).

Populacijska genetika (eng. *population genetics*) vrlo je važna grana genetike koja se bavi proučavanjem gena (alela) u populacijama te razlikama unutar i između populacija. Neki od važnijih pojmova vezanih uz ovo područje istraživanja su prirodna selekcija, adaptacija (eng. *adaptation*), specijacija, struktura populacije (eng. *population structure*), genetička rekombinacija

(eng. *genetic recombination*), vezanost gena (eng. *gene linkage*), neravnoteža vezanosti gena (eng. *linkage disequilibrium*), mutacije, genski tok (eng. *gene flow*), genetičko razilaženje (eng. *genetic drift*), uzgoj u srodstvu (eng. *inbreeding*), učinak utemeljitelja (eng. *founder effect*) i drugi. **Hardy-Weinbergov zakon ravnoteže** (eng. *Hardy-Weinberg equilibrium*) potvrđuje da će frekvencije alela i genotipova u populaciji ostati konstantni ukoliko na njih ne utječu razni evolucijski utjecaji poput mutacija, uzgoja u srodstvu, prirodne selekcije i drugih.

Oplemenjivanje bilja jedan je od najvažnijih procesa u razvoju civilizacije kojim su nastali brojni kultivari kulturnog bilja. Oplemenjivanje kukuruza veći razvoj doživjelo je početkom 20. stoljeća intenzivnijim istraživanjem tzv. kontinuiranog nasljeđivanja (**East** 1910.; **East i Hayes** 1911.; **Emerson i East** 1913.), otkrićem prirodnog fenomena heterozisa, uvođenjem inbred-hibrid koncepta (**Shull** 1909., 1910.; **Hayes i East** 1911.; **Jones** 1917., 1918.) te uvođenjem testiranja inbred linija u pokusima za prinos (eng. *yield test*) (**Jenkins** 1936.). **Crow** (1998.) navodi kako se hibridni kukuruz počeo više širiti upravo u vrijeme kada su se u većoj mjeri počeli koristiti bolji eksperimentalni dizajni s randomizacijom i ponavljanjima te bolje statističke metode koje je uveo **Ronald Fisher**. Ovaj poznati matematičar i statističar neko je vrijeme ranih 1930-ih proveo u Amesu na Sveučilištu u Iowi (ISU) te dosta utjecao na tamošnja istraživanja u poljoprivredi.

Još neka od najznačajnijih otkrića u genetici na početku i u prvoj polovini 20. stoljeća bila su otkriće dominacije kao osnove nasljeđivanja pri pojavi ksenija u endospermu (**Correns** 1901.; **East i Hayes** 1911.), *inbreeding* depresija (**Shull** 1909.), *waxy* tip kukuruza (**Collins** 1909.), sadržaj ulja i proteina (**Hopkins i sur.** 1903.; **East i Jones** 1920.), vezanost gena i rekombinacija (**Collins** 1912.), kvantitativna svojstva (**Emerson i East** 1913.), struktura škroba (**Brink i Abegg** 1926.) i druga. Kukuruz je **stranooplodna** biljka, što znači da se oplodnja vrši spajanjem gameta koje se nisu razvile na istoj biljci (alogamija), no u oplemenjivačkom procesu dobivanja inbred linija ključni postupak je uzastopna **samooplodnja** (autogamija) pri čemu pelud jedne biljke kukuruza oplođuje vlastitu svilu. Pojmovi polinacije i oplodnje dobrim se dijelom preklapaju, iako nisu potpuno istoznačni (svaka polinacija ne mora značiti i oplodnju). Primjerice, za stranooplodnju se u engleskom jeziku koriste termini *cross-pollination*, *cross-fertilization* i *outcrossing*.

Evolucijski biolog **Julian Huxley** izdao je 1942. godine knjigu pod nazivom *Evolucija: moderna sinteza* u kojoj je skovao novi termin *moderna sinteza* (eng. *modern synthesis*) koja je uključivala dijelove drugih važnih vezanih koncepata poput prirodnih varijacija i mutacija, Malthusovih ideja o geometrijskom rastu populacije i ograničenim resursima, Darwinove prirodne selekcije i Mendelovih zakona o nasljeđivanju (**Hubbs** 1943.; **Kimball** 1943.). U kontekstu današnje znanosti i istraživanja u genetici, oplemenjivanju i vezanim disciplinama, moderna sinteza predstavlja ideje i koncepte koji su u zadnjih 70-ak godina preživjeli test vremena, odnosno novih dokaza te su uspješno uklopljeni u aktualni prevladavajući znanstveni konsenzus koji se svakodnevno proširuje novim istraživanjima i spoznajama.

Početak druge polovine 20. stoljeća **Hershey i Chase** (1952.) serijom pokusa utvrdili su kako DNK ima ulogu genetičkog materijala, a godinu dana poslije Watson i Crick to su i potvrdili objavivši jedno od najvažnijih istraživanja u području genetike uopće (**Watson i Crick** 1953.a, b), u kojemu su predstavili strukturu DNK kao dvostruke uzvojnice (eng. *double helix*) u kojoj se između lanaca šećera i fosfata nalaze upareni parovi baza: adenin, timin, guanin i citozin (A, T, G, C). Crick 1957. godine iznosi tzv. središnju dogmu molekularne biologije (eng. *central dogma of molecular biology*) (**Crick** 1958.) koja objašnjava smjer prijenosa genetičkih informacija u biološkim sustavima, a taj smjer ide od nukleinskih kiselina do proteina (DNK > RNK > protein), nikada obratno. Dugo vremena mislilo se kako nekodirajuća DNK (eng. *non-coding DNA*) koja ne sudjeluje u sintezi bjelančevina u genomu čovjeka ne služi ničemu pa je prozvana *junk DNA* (doslovno *DNK smeće*), međutim novija istraživanja utvrdila su kako i taj dio DNK ima razne biokemijske uloge (**ENCODE Project Consortium** 2012.; **Pennisi** 2012.). Jedan od novijih koncepata u genetici koji se još uvijek istražuje je tzv. epigenetika (eng. *epigenetics*) u sklopu kojega se proučava na koji način okolinški utjecaji utječu na ekspresiju gena (**Bird** 2007.; **Reik** 2007.).



Slika 124. *Populacije egzotičnog izgleda i velikoga klipa podrijetlom iz američkog Kukuruznog pojasa (Indian Corn).*

Niz značajnih otkrića iz genetike u 19. i još više u 20. stoljeću u kombinaciji sa sve većim agronomskim napretkom doveli su do ubrzanog razvoja mnogih drugih istraživačkih pravaca, između ostalih i oplemenjivanja kukuruza kao znanstvene discipline, a početkom novoga tisućljeća i kao komercijalne djelatnosti (**Bernardo** 2020.). Neke počasti i nagrade koje istaknutiji znanstvenici primaju za svoj rad uključuju Nobelovu nagradu (*Nobel Prize*), primanje u američku Državnu akademiju za znanost (*National Academy of Sciences*), nagrade Američkog genetičkog društva (*Thomas Hunt Morgan Medal, GSA Medal, George W. Beadle Award, Elizabeth W. Jones Award for Excellence in Education, The Novitski Prize, The Rosalind Franklin Young Investigator Award*), nagradu *Crop Science Research Award*, nagradu *McClintock Prize* i druge. U narednom pregledu opisane su neke najvažnije institucije i znanstvenici koji su vršili istraživanja na kukuruzu, ponajprije u 20. stoljeću. Kako se većina pionirskih, ali i kasnijih istraživanja na kukuruzu odvijala u Sjedinjenim Američkim Državama, ovaj pregled u velikoj mjeri odnosi se na američke znanstvenike i institucije. Pregled institucija naveden je kronološki prema godini osnivanja. Osim tih sveučilišta i instituta postoji niz asocijacija koje okupljaju veliki broj članova s raznih institucija, a osnovane su zbog suradnje, dijeljenja informacija i vrednovanja uspjeha na raznim istraživačkim poljima. To su asocijacije poput američke *Državne akademije za znanost, Američkog genetičkog društva, Udruženja genetičara kukuruza, Američkog društva biljnih znanosti* i drugih. Isto tako, postoji nekoliko tzv. krovnih organizacija koje koordiniraju, financiraju i vrednuju sve ono što se u okviru njihovih nadležnosti događa, a to su primjerice *Ministarstvo poljoprivrede Sjedinjenih Američkih Država* te američka *Državna zaklada za znanost*. Slične verzije navedenih institucija postoje u mnogim drugim državama u svijetu.

Sveučilište u Indiani (*Indiana University – IU*) predstavlja sustav sveučilišta u saveznoj državi Indiani u Sjedinjenim Američkim Državama. Osnovano je 1820. godine, a na njemu su dio svoga radnog vijeka proveli neki istaknuti istraživači kukuruza (Marcus Rhoades, Ellen Dempsey, Drew Schwartz, David Walden i drugi).

Institut Bussey (*Bussey Institute*), osnovan 1835. godine, bio je važan znanstveni centar za biološka istraživanja u sklopu **Sveučilišta Harvard** (*Harvard University, Cambridge, Massachusetts*, osnovano 1636. godine). Smatra se da je ovaj institut imao jednu od glavnih uloga u razvoju znanstvenih istra-

živanja kulturnog bilja, a na njemu su radili neki od najznačajnijih istraživača toga doba: **Edward M. East** (1879. - 1938.), R. A. Emerson, **Donald F. Jones** (1890. - 1963.), R. Alexander Brink, Paul C. Mangelsdorf i drugi.



Slika 125. University of Missouri, Tiger Plaza (Jon J. Tollefson).

Sveučilište u Missouriju (*University of Missouri – UM, Columbia*), osnovano 1839. godine kao prva javna institucija za visoko obrazovanje zapadno od rijeke Mississippi. Neki od najpoznatijih istraživača u području genetike i oplemenjivanja kukuruza dio svog radnog vijeka proveli su na ovome sveučilištu: **Lewis J. Stadler** (1896. - 1954.), Barbara McClintock, **Marcus S. Zuber** (1912. - 1998.), **Myron G. Neuffer** (1922. - 2019.), **Edward H. Coe** (r. 1926.) i drugi. Na ovome je sveučilištu za vrijeme radnog vijeka profesora Zuberu i iz projekata koje je on vodio razvijen cijeli niz važnih inbred linija kukuruza, na čelu s jednom od najpoznatijih linija u povijesti (Mo17), što je dovelo do prave revolucije u tadašnjim, ali i daljnjim oplemenjivačkim programima. Najveća inovacija u oplemenjivanju kukuruza bila je otkriće legendarnog heterotičnog obrasca B73 × Mo17, koji se koristi i danas, kako u oplemenjivanju tako i u raznim istraživanjima. Genetičari Stadler i Neuffer proučavali su mutacije i mutantne varijante kod kukuruza, a Edward Coe bio

je urednik glasila *Maize Genetics Newsletter* te je za svoj dugogodišnji rad na polju genetike 1992. godine dobio nagradu *Thomas Hunt Morgan Medal* i pridružio se odabranom društvu istraživača koji su ranije primili ovu nagradu (Rhoades, McClintock, Brink, Beadle, Nelson).

Na **Sveučilištu u Wisconsinu** (*University of Wisconsin – UW, Madison*), osnovano 1848. godine, radilo je nekoliko istaknutih istraživača na području genetike i oplemenjivanja kukuruza. **R. Alexander Brink** (1897. - 1984.) na ovome sveučilištu radio je od 1922. godine, a njegov istraživački doprinos u genetičkim istraživanjima i oplemenjivanju uključuje objašnjavanje uloge polenove cjevčice i endosperma u oplodnji biljaka, demonstraciju genske aktivnosti na biokemijskoj razini, koncept polusterilnosti i recipročne translokacije, potvrdu da su u *crossing over* uključeni homologni kromosomi i drugo. **Hugh H. Iltis** (1925. - 2016.) najveći dio svoga znanstvenog rada posvetio je istraživanjima u botanici i genetici, s posebnim naglaskom na evoluciji, biogeografiji i sistematici biljaka iz porodice trava. Osim toga, bio je poznat i po aktivnom sudjelovanju u zaštiti i konzervaciji prirodnih ekosustava. Neki od njegovih najznačajnijih doprinosa uključuju prepoznavanje i isticanje veze između teozinte i kukuruza, razrađivanje teze da je klip kukuruza evoluirao iz centralne osi metlice teozinte te stimulacija istraživanja vezanih uz regionalnu biološku raznolikost. Jedan od znanstvenika koji su dali najveći doprinos istraživanjima podrijetla kukuruza svakako je **John Doebley** koji je dobar dio svoje znanstvene karijere proveo na ovome sveučilištu.

Sveučilište u Minnesoti (*University of Minnesota – UMN*) osnovano je 1851. godine. Poznato po brojnim inovacijama, na ovome sveučilištu boravili su neki od najvažnijih istraživača iz područja prirodnih znanosti (npr. Melvin Calvin – otkriće Calvinovog ciklusa u procesu fotosinteze). **Charles R. Burnham** (1904. - 1995.) svojim je radom u nekoliko raznih institucija dugoročno dao veliki doprinos razvoju oplemenjivanja kukuruza. Najveći trag ostavio je na Sveučilištu u Minnesoti, na Odjelu za agronomiju i genetiku bilja (*Department of Agronomy and Plant Genetics*). Jedan od najistaknutijih istraživača zaslužnih za osnivanje i razvoj oplemenjivanja kukuruza na ovome sveučilištu bio je **Willet M. Hays** (1859. - 1928.), koji je razvio jednu od najvažnijih sorata kukuruza *Minn13*, koja je poslužila kao izvor za dobivanje mnogih linija u kasnijem hibridnom oplemenjivanju. Profesora Haysa zbog njegovih doprinosa oplemenjivanju prozvali su *ocem znanstveno utemeljenog*

oplemenjivanja bilja (Troyer i Mikel 2010.). Još neki od istaknutijih znanstvenika u oplemenjivanju i istraživanju kukuruza na ovome sveučilištu u ranijim danima bili su **Herbert K. Hayes**, **Ernest H. Rinke** i drugi, a u novije vrijeme biolog **Ronald L. Phillips**, član NAS od 1991. godine te **Rex Bernardo** (oplemenjivanje i genetika).

Sveučilište u Iowi (*Iowa State University – ISU*, Ames), osnovano 1858. godine, predstavlja jednu od najvažnijih institucija za znanstvena istraživanja na kukuruza, ali i za stvaranje elitne oplemenjivačke germplazme koja se uspješno inkorporirala u komercijalne oplemenjivačke programe u mnogobrojnim svjetskim zemljama. **George F. Sprague** (1902. - 1988.) bio je američki genetičar i istraživač, a radio je na sveučilištima u Iowi i Illinoisu – zaslužan je za stvaranje nove heterotične skupine u germplazmi kukuruza (*Iowa Stiff Stalk Synthetic*), koja predstavlja svojevrsni kamen temeljac novom pristupu oplemenjivanju i istraživanju kukuruza. Najveći doprinos dao je u primjeni principa kvantitativne genetike u oplemenjivanju kukuruza (važnost općih i posebnih kombinacijskih sposobnosti te rano testiranje inbred linija, učinkovitost rekurentne selekcije i drugo). Primio je brojna priznanja za svoj rad, od kojih i članstvo u NAS 1968. godine.

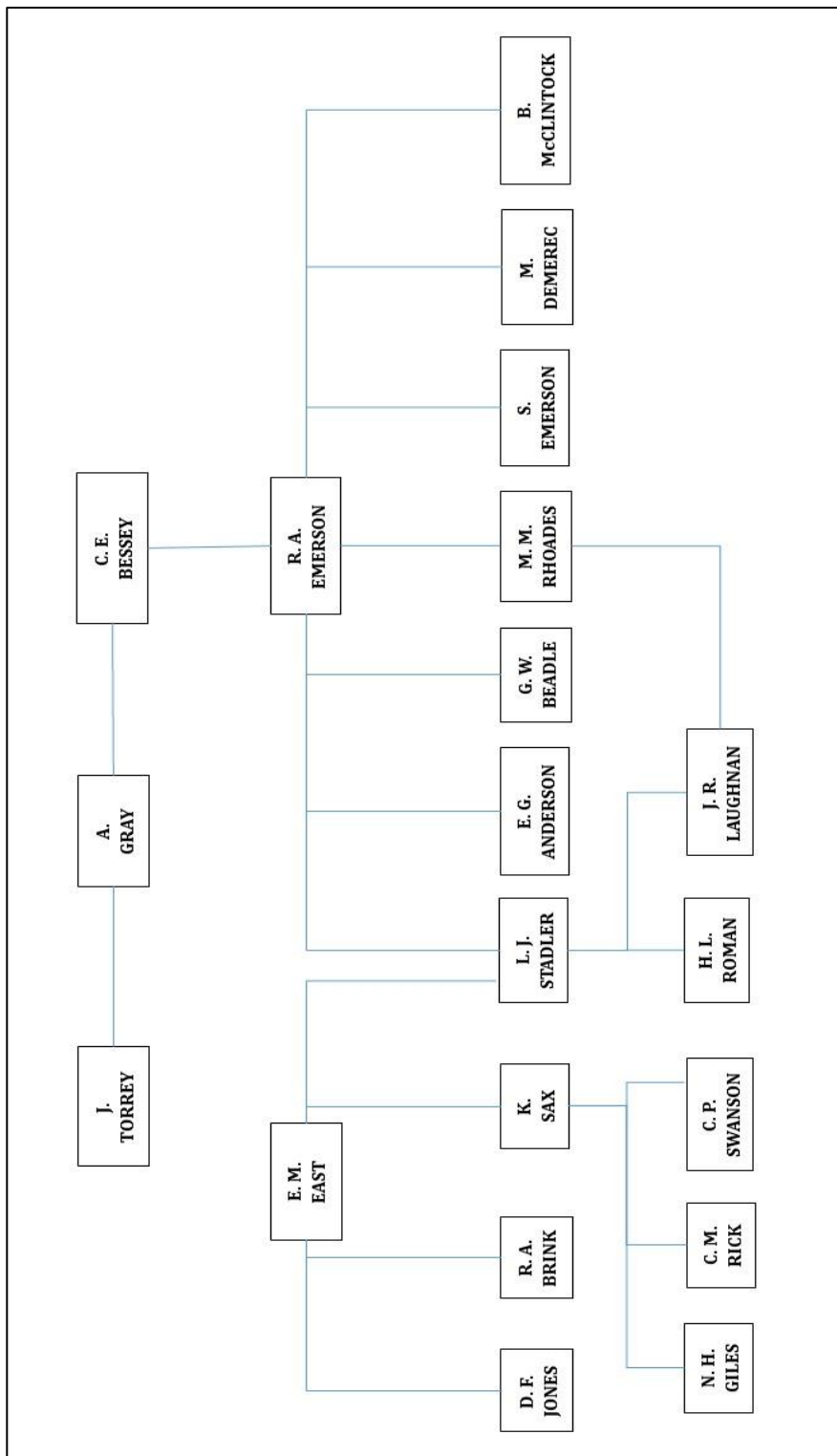


Slika 126. *Beardshear Hall, Iowa State University, Ames, Iowa.*

Nasljednik G. F. Spraguea na ISU postao je **Arnel R. Hallauer** (r. 1932.), poznat po velikom doprinosu svojim istraživanjima u kvantitativnoj genetici, također član NAS od 1989. godine. **Donald S. Robertson** (1921. - 2016.) najveći dio svoje karijere proveo je na ovome sveučilištu provodeći brojna genetička istraživanja. **Wilbert A. Russell** (1922. - 2014.) tijekom svoga rada na oplemenjivanju kukuruza proveo je brojna važna istraživanja, a pod njegovim vodstvom stvoreno je nekoliko antologijskih linija koje su se nakon toga upotrebljavale u mnogim oplemenjivačkim programima u SAD-u i svijetu (npr. B37, B49, B52, B64, B68 i B73). Značajan doprinos dao je i u stvaranju citoplazmatski sterilnih linija, istraživanjima truleži stabljike, otpornosti na kukuruznog moljca i zlaticu te drugim istraživanjima. **Peter A. Peterson** (1925. - 2017.) od 50-ih godina prošloga stoljeća istraživao je transpozone kod kukuruza, po čemu je njegov rad najviše bio prepoznat.

Državna akademija za znanost (*National Academy of Sciences* – NAS) osnovana je 1863. godine. To je privatna, neprofitna organizacija koja okuplja i kroz dodjeljivanje članstava vrednuje vodeće američke znanstvenike. Članstvo u Akademiji predstavlja jedno od najvećih priznanja za znanstveni rad općenito. U prvoj polovini 20. stoljeća (1914. godina) u sklopu akademije osnovan je i ugledni časopis *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* – PNAS) kao osnovna platforma za objavljivanje znanstvenih istraživanja članova akademije, ali i ostalih znanstvenika u svijetu.

Sveučilište Cornell (*Cornell University*, Ithaca, New York), osnovano 1865. godine, jedno je od osam prestižnih sveučilišta u sjeveroistočnom dijelu Sjedinjenih Američkih Država (tzv. *Ivy League* sveučilišta). Neki od najznačajnijih istraživača u genetici kukuruza dio svoga radnog vijeka proveli su na ovome sveučilištu. **Rollins A. Emerson** (1873. - 1947.) jedan je od najistaknutijih istraživača u genetici i oplemenjivanju bilja. Jedan je od prvih istraživača koji je prepoznao kukuruz kao biljku koja je vrlo pogodna za genetička istraživanja te je u svome radu često koristio kukuruz kao model. Od 1915. godine radio je na sveučilištu Cornell kao predstojnik Odjela za oplemenjivanje bilja, gdje je osnovao poznatu školu oplemenjivanja kukuruza (**Beadle** 1950.) te vodio i usmjeravao brojne studente, od kojih su neki također postali svjetski priznati istraživači (Barbara McClintock, George W. Beadle, Marcus M. Rhoades, Milislav Demerec i drugi).



Slika 127. Rani genetičari koji su provodili istraživanja na kukuruzu (prema Coe 2001. i Sturtevant 1965.).

Sveučilište u Illinoisu (*University of Illinois* – UIUC ili neslužbeno *U of I*, Urbana-Champaign), osnovano 1867. godine, u svojoj je dugogodišnjoj tradiciji znanstvenih istraživanja iznjedrilo neke poznate istraživače, kao što su Edward M. East, Marcus M. Rhoades, George F. Sprague, **John R. Laughnan** (1919. - 1994.), **Earl B. Patterson** (1923. - 1999.), **Arthur L. Hooker** (1924. - 1991.) i drugi.

Državna istraživačka stanica **Connecticut Agricultural Experiment Station** (CAES), koja je osnovana 1875. godine, bavi se istraživanjima u poljoprivredi i vezanim znanstvenim područjima. Najznačajniji istraživači u ovoj instituciji bili su Edward M. East, Herbert K. Hayes, Donald F. Jones, Oliver E. Nelson i drugi. Obzirom na prisutnost istaknutih istraživača poput Easta, Hayesa i Jonesa, može se reći kako je ova istraživačka stanica ima velike zasluge za razvoj koncepta hibridnog kukuruza.

Sveučilište Stanford (*Leland Stanford Junior University* ili skraćeno *Stanford University*) privatno je sveučilište osnovano 1885. godine u Stanfordu, California. George Beadle dio svoga radnog vijeka proveo je na ovome sveučilištu. Važan istraživački laboratorij u sklopu ovoga sveučilišta osnovala je **Virginia Walbot** (r. 1946.), koja i danas proučava razvoj i reprodukciju kod kukuruza te je u tome području ostvarila veliki znanstveni doprinos.

Laboratorij **Cold Spring Harbor** (CSHL) osnovan je 1890. godine u New Yorku i od svojih ranih dana predstavljao je platformu za razna istraživanja uključujući genetiku i oplemenjivanje kukuruza. Neki od najznačajnijih istraživača koji su dio svoga radnog vijeka proveli u ovome laboratoriju proučavajući kukuruz su **George H. Shull** (1874. - 1954.), koji je imao važnu ulogu u otkrivanju i istraživanju heterozisa kod kukuruza, hrvatsko-američki znanstvenik **Milislav Demerec** (1895. - 1966.), Barbara McClintock, **James D. Watson** (r. 1928.), koji je s Francisom Crickom dobio Nobelovu nagradu za otkriće dvostruke uzvojnice DNK i drugi.

Kalifornijski tehnološki institut (*California Institute of Technology* ili skraćeno *Caltech*) osnovan je 1891. godine u Pasadeni (California) i u svojoj je povijesti bio matična ustanova nekim istaknutim istraživačima kao što su George W. Beadle, **Edgar G. Anderson** (1897. - 1969.), Donald S. Robertson i drugi.

Američko agronomsko društvo (*American Society of Agronomy – ASA*), osnovano 1907. godine, međunarodno je znanstveno i stručno udruženje sa sjedištem u Madisonu (Wisconsin, SAD) koje okuplja više od 7000 članova (znanstvenici, edukatori, stručnjaci, proizvođači koji razvijaju, objavljuju, dijele te primjenjuju znanstvene spoznaje i agronomska rješenja za razvoj biljne proizvodnje, odnosno proizvodnje hrane). Iz ovoga društva vremenom su nastala još dva: Američko tloznanstveno društvo (*Soil Science Society of America – SSSA*) i Američko društvo biljnih znanosti. Godinu dana nakon osnivanja ovoga udruženja (1908. godine), pokrenut je i časopis *Agronomy Journal* kao osnovna platforma za objavljivanje provedenih istraživanja.

Udruženje genetičara kukuruza (*Maize Genetics Cooperation, Inc. – MGC*) neprofitna je američka udruga osnovana 1920-ih godina (R. A. Emerson, sveučilište Cornell) sa svrhom okupljanja znanstvenika iz područja genetike, genomike i oplemenjivanja kukuruza koji bi promovirali zajedničke interese kroz suradnju, razmjenu materijala i ideja te kroz razne aktivnosti poticali razvoj novih generacija znanstvenika. Izravno iz ove inicijative proizlazi najvažniji skup genetičara kukuruza na svijetu (*Annual Maize Genetics Meeting*), kao i glasilo *Maize Genetics Cooperation Newsletter* te baza za pohranjivanje genetičkih resursa *Maize Genetics Cooperation Stock Center* (E. B. Patterson).

Američko genetičko društvo (*Genetic Society of America – GSA*) osnovano je 1931. godine u Sjedinjenim Američkim Državama te danas okuplja preko 5500 istraživača i edukatora na polju genetike. Mnogi istraživači u ovome pregledu bili su članovi ovoga društva te primili neke od nagrada poput *Thomas Hunt Morgan Medal*, *GSA Medal*, *George W. Beadle Award* i drugih. Neki članovi ovoga društva, poput Morgana, Beadlea i McClintock, primili su i Nobelovu nagradu za svoj rad.

Svjetski poznata **Organizacija za hranu i poljoprivredu** (*Food and Agriculture Organization – FAO*) međunarodna je organizacija Ujedinjenih naroda osnovana – simbolično – upravo u godini kada je završio Drugi svjetski rat (1945.). FAO uključuje gotovo 200 zemalja članica, ima sjedište u Rimu, ali i brojne regionalne uredi i stanice u više od 130 država svijeta. Misija ove organizacije je spriječiti (ili barem smanjivati) glad u svijetu te povećati kvalitetu prehrane i sigurnost hrane kroz razvoj poljoprivrede, šumarstva, ribars-

tva i upravljanje zemljišnim i vodenim resursima. Služi i kao baza podataka mnogim svjetskim organizacijama koje koriste FAO podatke u svojim istraživanjima. Mnogi podatci u ovoj knjizi također su preuzeti s FAOSTAT platforme.

Državna zaklada za znanost (*National Science Foundation* – NSF, osnovana 1950.) neovisna je američka državna organizacija koja je stvorena kako bi se postigao i održao napredak znanosti, a time i obrazovanja, zdravlja i blagostanja u društvu. S budžetom od oko 8,5 milijardi USD ova organizacija financira oko 27 % svih državno potpomognutih istraživanja koja provode sveučilišta u SAD-u.

Ministarstvo poljoprivrede Sjedinjenih Američkih Država (*United States Department of Agriculture* – USDA), osnovano 1862. godine, pokrenulo je 1953. godine svoju najvažniju istraživačku instituciju – ***Agricultural Research Service*** (USDA-ARS) – kroz koju su se ostvarila neka od najvećih istraživačkih dostignuća vezanih uz poljoprivredu (eng. *agricultural research*). Članovi tzv. dvorane slavnih ove institucije uključivali su imena poput G. Spraguea, A. Hallauera, C. W. Stubera, S. Hake i drugih, a neki članovi ARS također su članovi i NAS (Sprague, Hallauer, Hake, Buckler i drugi), što znači da su mnoga istraživanja koja je provodio ARS provedena u suradnji s mnogim drugim znanstvenim institucijama, većina kojih je navedena u ovoj knjizi.

Američko društvo biljnih znanosti (*Crop Science Society of America* – CSSA), osnovano 1956. godine, međunarodno je udruženje sa sjedištem u Madisonu (Wisconsin, SAD), koje okuplja više od 4000 istraživača koji se bave biljnim znanostima. U sklopu ovoga društva 1961. godine pokrenut je i ugledni časopis *Crop Science* kao osnovna platforma za objavljivanje istraživanja članova društva, ali i ostalih znanstvenika u svijetu.

Međunarodni centar za oplemenjivanje kukuruza i pšenice (*International Maize and Wheat Improvement Center* ili *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo* – CIMMYT) međunarodna je neprofitna organizacija sa sjedištem u Mexico Cityju osnovana 1966. godine. Kroz brojna istraživanja i edukaciju te prikupljanje i skladištenje uzoraka u gen-banke, ova institucija razvija nove, poboljšane hibride kukuruza te svojim djelovanjem pokriva

široko područje, počevši od sigurnosti hrane (eng. *food security*) pa do zaštite okoliša i očuvanja biljnih genetskih resursa (eng. *conservation*), što sve doprinosi razvoju društva u cjelini.

Osim navedenih institucija još je niz drugih američkih institucija uključeno u istraživanja o kukuruzu (*UC Davis, UC Berkeley, UC San Diego, UC Riverside, UC Irvine, Purdue University, Ohio State University, University of Georgia, Pennsylvania State University, University of Nebraska-Lincoln, Michigan State University, North Carolina State University, University of Massachusetts-Amherst, University of Florida-Gainesville, Florida State University, University of Delaware, University of Hawaii, Washington University-St. Louis, Oregon State University, Carnegie Institution for Science, Waksman Institute-Rutgers University, Donald Danforth Plant Science Center, Whitman College, Brigham Young University* i mnoge druge). Za kraj ovoga dijela o istraživanjima nekoliko znanstvenika navedeno je zasebno, uglavnom iz razloga jer su u svojoj karijeri promijenili nekoliko različitih ustanova ili su radili u institucijama koje nisu posebno navedene ranije. Navedeni su kronološki prema godini rođenja, a neki od njih imaju posebno mjesto kada se govori o istraživanjima na kukuruzu (primjerice Paul Mangelsdorf, Barbara McClintock, George Beadle i John Doebley).

Paul C. Mangelsdorf (1899. - 1989.) veliki dio svoje karijere posvetio je istraživanju podrijetla i evolucije kukuruza. Studirao je na Harvardu, bavio se oplemenjivanjem na *Texas Agricultural Experiment Station*, nakon čega se vratio na Harvard. Svojim radom pokrenuo je brojne rasprave i istraživanja o podrijetlu kukuruza u znanstvenoj zajednici (prvenstveno svojom trodijelnom teorijom o podrijetlu kukuruza), a za svoja postignuća primljen je u NAS 1945. godine te je primio mnoga druga priznanja poput počasnog doktorata na sveučilištu Harvard 1977. godine.

Barbara McClintock (1902. - 1992.) dobitnica je Nobelove nagrade za fiziologiju 1983. godine zbog otkrića transpozona (eng. *transposable elements* ili kolokvijalno, eng. *jumping genes*), dijelova DNK koji mogu mijenjati svoj položaj u genomu. Zaslužna je za više važnih otkrića u području biljne citogenetike, otkrila je mehanizam nestabilnosti kromosoma pod nazivom *breakage-fusion-bridge (BFB) cycle*, analizirala je kromosomske razlike prema relativnoj duljini, udjelu kromatida i obrascima kromomera, korelaciju citolo-

škog i genetičkog *crossing overa*, pojavu nehomolognog sparivanja, kontrolu djelovanja gena, koncept genske regulacije te otkrila dvojedinični sustav interakcije koji je uvelike potpomogao oblikovanje teorije genske regulacije regulator-operon, za koju su poznati znanstvenici Jacob i Monod 1965. godine dobili Nobelovu nagradu. McClintock je zbog svojih iznimnih postignuća i doprinosa u znanosti 1944. godine primljena u NAS. Do 1935. svoja istraživanja provodila je na sveučilištu Cornell, a do 1941. godine na sveučilište u Missouriju, nakon čega odlazi u poznati laboratorij Cold Spring Harbor Laboratory, gdje ostaje do mirovine.

George W. Beadle (1903. - 1989.) bio je američki genetičar najviše poznat po istraživanju podrijetla kukuruza. Još u prvoj polovini 20. stoljeća predstavio je svoju teoriju o teozinti kao pretku kukuruza (*teosinte hypothesis*), koju je uz dosta vremena i nove dokaze prihvatila velika većina znanstvene zajednice. Radio je na nekoliko važnih institucija (Caltech, Sveučilište u Chicagu, Harvard, Stanford), primljen je u NAS 1944. godine, a za svoj rad (hipoteza o genima koji djeluju na proizvodnju enzima – *one gene-one enzyme hypothesis*), dobio je Nobelovu nagradu iz fiziologije 1958. godine (**Doebly 2001.; Horowitz i sur. 2004.**).

Marcus M. Rhoades (1903. - 1991.) provodio je genetička i citogenetička istraživanja (heterokromatin, struktura i podrijetlo kromosoma, transpozoni i drugo) te je svojim djelovanjem ostvario značajan doprinos u razvoju ovih disciplina. Osim na Cornellu, za vrijeme svoga radnog vijeka radio je i na drugim institucijama (ISU, Sveučilište Columbia, UIUC, Sveučilište u Indiani i druge), a 1946. godine izabran je u NAS.

William L. Brown (1913. - 1991.) provodio je opsežna istraživanja o podrijetlu i evoluciji, a značajan doprinos dao je i u području oplemenjivanja i citogenetike kukuruza. Osim toga, veliki dio svojega rada bio je uključen u razne aktivnosti klasifikacije i konzervacije germplazme te korištenja novih izvora u oplemenjivanju. Tijekom svoje karijere radio je u kompaniji Pioneer te je uvršten u NAS 1980. godine.

Charles O. Gardner (1919. - 2014.) većinu svoje karijere proveo je na Sveučilištu u Nebraski (*University of Nebraska – UNL, Lincoln, osnovano 1869.*), gdje je istraživao i podučavao kvantitativnu genetiku.

Oliver E. Nelson, Jr. (1920. - 2001.) bio je uvaženi genetičar koji je svoj radni vijek posvetio istraživanjima na kukuruзу i to na nekoliko poznatih institucija – *Connecticut Agricultural Experiment Station*, Sveučilištu Purdue (*Purdue University*, Indiana) te Sveučilištu u Wisconsinu. U svojim istraživanjima na mutantima kod kukuruza pokazao je da se razine esencijalnih aminokiselina mogu povećati mutacijama. Primljen je u NAS 1972. godine.

Walton C. Galinat (r. 1923.) američki je botaničar i genetičar, najpoznatiji po proučavanju podrijetla kukuruza (**Cohen i sur.** 2007.). Za vrijeme svoje znanstvene karijere radio je na sveučilištu Harvard (Institut Bussey) kod P. Mangelsdorfa i na Sveučilištu u Massachusettsu (*University of Massachusetts-Amherst*).

James D. Smith (r. 1927.) bio je profesor na Teksaskom sveučilištu poljoprivrede i mehanike (*Texas A&M University – TAMU*), gdje je istraživao biljnu genetiku, genetiku kukuruza, populacijsku genetiku, citogenetiku, fiziologiju i drugo.

John F. Doebley američki je genetičar koji je većinu svoga radnog vijeka proveo u istraživanjima vezanima za podrijetlo kukuruza te se smatra jednim od najistaknutijih znanstvenika na tome području. Zbog iznimnih postignuća u svojim istraživanjima primljen je u NAS 2002. godine (**Brownlee** 2004.). Osim na Sveučilištu u Minnesoti, najveći trag ostavio je na Sveučilištu u Wisconsinu na kojemu je 1980. godine doktorirao i na kojemu je zaposlen kao profesor od 1999. godine. Ugledna udruga znanstvenika *Maize Genetics Cooperation* na svome 63. skupu (*63rd Maize Genetics Meeting*) 2021. godine dodijelila mu je svoju najprestižniju nagradu *The McClintock Prize* za doprinos i naslijeđe koje je ostvario svojim radom na kukuruзу.

U organizaciji ASA/CSSA/SSSA na znanstvenom skupu u Texasu 2011. godine na posebnoj sekciji *The mysteries of maize: A recognition of pillars in maize science* odano je priznanje znanstvenicima koji su svoje karijere posvetili proučavanju raznolikosti kukuruza i njegovih divljih srodnika *Tripsacuma* i teozinte: Major Goodman, Hugh Iltis, Takeo Ángel Kato Yamakake, Wilfredo Salhuana, José de Jesús Sánchez González, H. Garrison Wilkes, Suketoshi Taba i José Crossa.

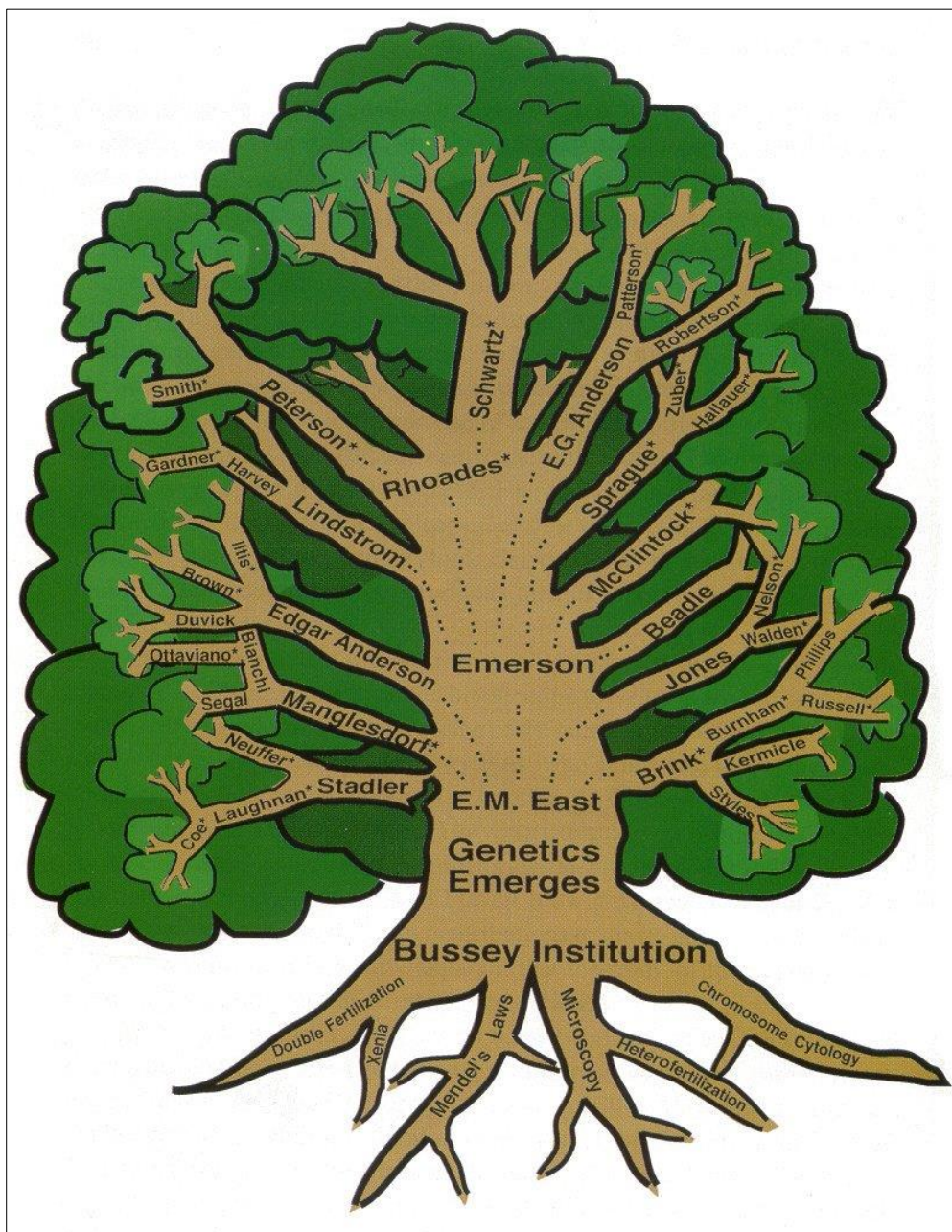
Kako je spomenuto ranije, u ovaj pregled uključeni su uglavnom znanstvenici i institucije iz Sjedinjenih Američkih Država jer se velika većina istraživanja na kukuruзу odvijala upravo na tamošnjim institucijama. Međutim, u zadnjih nekoliko desetljeća, a pogotovo početkom 21. stoljeća, mnoge druge istraživačke institucije širom svijeta osigurale su svoje mjesto na svjetskoj karti istraživanja kukuruza. Posebno se mogu istaknuti institucije u Europi i Aziji koje postaju sve važnije, kako u pogledu veličine, tako i same brojnosti, ali i specifično u pogledu istraživanja kukuruza. Ovdje su kronološkim slijedom navedene neke uglavnom europske, ali i azijske, australske i južnoameričke institucije (u zagradama su navedeni originalni nazivi, pripadajuća država te godina osnivanja):

- * Sveučilište Oxford (*University of Oxford*, Engleska, 1096.)
- * Sveučilište Paris-Saclay (*Université Paris-Saclay*, Francuska, 1150.)
- * Sveučilište Cambridge (*University of Cambridge*, Engleska, 1209.)
- * Sveučilište u Montpellieru (*Université de Montpellier*, Francuska, 1220.)
- * Sveučilište Köln (*Universität zu Köln*, Njemačka, 1388.)
- * Katoličko sveučilište Louvain (*Université catholique de Louvain*, Francuska, 1425.)
- * Sveučilište Martin Luther (*Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg*, Njemačka, 1817.)
- * Sveučilište u Bonnu (*Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn*, Njemačka, 1818.)
- * Sveučilište Zürich (*Universität Zürich*, Švicarska, 1833.)
- * Sveučilište Antwerpen (*Universiteit Antwerpen – UA*, Nizozemska, 1852.)
- * Federalni institut za tehnologiju Zürich (*Eidgenössische Technische Hochschule Zürich*, Švicarska, 1855.)
- * Tehničko Sveučilište u Münchenu (*Technische Universität München – TUM*, Njemačka, 1868.)
- * Sveučilište Wageningen (*Wageningen University & Research – WUR*, Nizozemska, 1876.)
- * Kinesko poljoprivredno sveučilište (*China Agricultural University – CAU*, Kina, 1905.)
- * Sveučilište Queensland (*University of Queensland – QU*, Australija, 1909.)
- * Društvo za unaprjeđenje znanosti Max Planck (*Max-Planck-Gesellschaft*, Njemačka, 1911.)
- * Sveučilište u Milanu (*Università degli studi di Milano*, Italija, 1924.)

- * Sveučilište Aarhus (*Aarhus Universitet* – AU, Danska, 1928.)
- * Nacionalni institut za agronomska istraživanja (*Institut national de la recherche agronomique* – INRA, Francuska, 1946.)
- * Nacionalna tajvanska akademija (*Academia Sinica* – AS, Taiwan, 1949.)
- * Sveučilište Sussex (*University of Sussex*, Engleska, 1959.)
- * Sveučilište Regensburg (*Universität Regensburg*, Njemačka, 1962.)
- * Sveučilište Guelph (*University of Guelph* – U of G, Kanada, 1964.)
- * Sveučilište Heinrich Heine (*Heinrich Heine Universität Düsseldorf* – HHU, Njemačka, 1965.)
- * Sveučilište Warwick (*University of Warwick*, Engleska, 1965.)
- * Brazilska poljoprivredna istraživačka korporacija (*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária* – EMBRAPA, Brazil, 1972.)
- * Poljoprivredno sveučilište Huazhong (*Huazhong Agricultural University* – HZAU, Kina, 1985.)
- * Nacionalni institut za istraživanje i razvoj bioloških znanosti (*Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Științe Biologice* – INCDSB, Rumunjska, 1996.)
- * BIOGEMMA (Francuska, 1997.)
- * Institut Gregor Mendel (*Gregor Mendel Institute of Molecular Plant Biology*, Austrija, 2000.)
- * Sveučilište u Lyonu (*Université de Lyon*, Francuska, 2007.).

Kada se govori o oplemenjivanju kukuruza jedan od važnih trendova bio je spomenuto prebacivanje R&D modela sa sveučilišta na privatne kompanije, što je jednim dijelom ograničilo dijeljenje informacija o germplazmi (primjerice nekada javno dostupne inbred linije stavljene su pod strogi nadzor korištenjem patenta). Spomenuti trend zapravo je označio privatiziranje oplemenjivanja kukuruza i njegovo pretvaranje iz znanstveno-komercijalne u većinski komercijalnu djelatnost. Moderno oplemenjivanje i danas koristi nove znanstvene spoznaje i neke važne elemente znanstvene metodologije (eksperiment, ponavljanje, obrada podataka, predviđanja), ali se općenito može reći kako je razvoj inbred linija i hibrida u 21. stoljeću prvenstveno komercijalna, a tek onda istraživačka djelatnost.

Napomena: točan prijevod imena nekih institucija poput American Society of Agronomy, Crop Science Society of America ili drugih institucija u hrvatskom jeziku ne postoji pa su takvi i slični pojmovi prevedeni prema autoru.



Slika 128. Neki od najvažnijih istraživača u genetici i oplemenjivanju kukuruza u 20. stoljeću (preuzeto iz **Peterson** 1999., Fig. 24, p. 82). Kao i kod mnogih drugih podjela, na glavni dio stabla – a pogotovo na veće i manje grane koje iz njega izlaze – moglo se staviti još dosta drugih istraživača koji su pridonijeli vrijednim spoznajama iz područja genetike, evolucije i oplemenjivanja kukuruza. Velika većina postignuća u znanosti koja se pripisuju određenim pojedincima rezultat su napornog timskog rada koji osim glavnog istraživača uključuje i suradnike, asistente, tehničare, radnike, laborante, mehaničare, čistače i ostale.

Znanstveni skupovi

Osim kroz znanstvene radove (eng. *research papers*), znanstvena istraživanja o kukuruzu (eng. *maize research*), kao uostalom i gotovo svaka druga istraživanja, objavljuju se na relevantnim kongresima, simpozijima i skupovima diljem svijeta, na kojima znanstvenici prezentiraju svoja istraživanja te dijele svoje ideje i razmišljanja o aktualnoj problematici unutar raznih znanstvenih područja. Mnoge zemlje imaju svoje nacionalne genetičke, oplemenjivačke, sjemenarske, agronomske i ostale skupove, od kojih su mnogi u međuvremenu postali i međunarodni. U Hrvatskoj je glavni nacionalni (a od 2006. godine i međunarodni) agronomski skup poznati godišnji **Simpozij agronoma** (*Symposium on Agriculture*), koji se dugo godina održavao u Opatiji, a zadnjih godina i u Dubrovniku i Vodicama (2023. godine održao se u Dubrovniku kao 58th *Croatian and 18th International Symposium on Agriculture*).

Međunarodna organizacija **EUCARPIA** (*European Association for Research on Plant Breeding*), osnovana 1956. godine, okuplja u 11 različitih sekcija znanstvenike iz više zemalja koji na posebno organiziranim skupovima dijele svoja istraživačka iskustva, razmjenjuju ideje i informacije i predlažu uvijek aktualne suradnje na novim istraživanjima iz područja genetike i oplemenjivanja bilja. EUCARPIA organizira dvije vrste skupova: opći (*general congress*) na kojemu se prezentiraju istraživanja na svim kulturama (od 1956. do 2004. godine svake tri godine, a od 2004. do danas svake četiri godine) te posebni za svaku sekciju pojedinačno. Sekcija za kukuruz i sirak (*Maize and Sorghum Section*) do 1987. godine organizirala je svoje skupove svake dvije godine, od 1987. do 2011. godine naizmjenično svake dvije do tri ili svake četiri godine, a od 2011. godine ovaj skup organizira se svake četiri godine (primjerice 2011. godine održavao se u Opatiji u suorganizaciji Poljoprivrednog instituta Osijek – *XXII EUCARPIA Maize and Sorghum Conference*, 2015. u Montpellieru (Francuska), a 2019. u Freisingu (Njemačka) – *XXIV EUCARPIA Maize and Sorghum Conference*). Program ovoga skupa bio je podijeljen u tri glavna dijela: 1) Određivanje, održavanje i proširenje genetičke raznolikosti (*Characterize, maintain and broaden genetic diversity*); 2) Opseg interakcije genotipa i okoline (*Genotype by environment interactions on different scales*); 3) Novi pravci u selekciji i oplemenjivanju kroz integraciju molekularnih tehnika (*New avenues in selection and breeding through integration of molecular tools*). Pregled glavnih sekcija na ovakvom velikom

skupu omogućuje uvid u aktualnu problematiku u oplemenjivačkim, genetičkim i genomskim istraživanjima na kukuruza na kraju druge i početku treće dekade 21. stoljeća.

Godišnji znanstveni skup o genetičkim istraživanjima na kukuruza (*Annual Maize Genetics Conference*, od 2021. *Annual Maize Genetics Meeting*) osnovan je i prvi puta održan 1959. godine u Illinoisu. Osnivači su Ed Coe, John Laughnan, Gerry Neuffer i Earl Patterson. Do 1984. godine skup se održavao u Illinoisu, od 1985. do 1991. godine u Wisconsinu, a od 1992. godine i na raznim drugim mjestima, uglavnom u SAD-u, ali i u svijetu (Meksiko, Italija, Kina, Francuska). Održavanje ovoga skupa 2020. godine bilo je predviđeno na Havajima, ali je zbog zdravstvene sigurnosti* održana samo virtualna konferencija, kao i 2021. godine. Neke od glavnih sekcija uključivale su biologiju genoma (*Genome biology*), utjecaj okoline (*Maize and the environment*), regulaciju gena (*Regulating genes and genomes*), nove istraživačke metode i primjenu istraživanja (*Emerging tools & Applied Research*) i stanične procese (*Cellular processes*). Poster sekcija također je bila podijeljena na razne teme – najviše postera bilo je prijavljeno unutar ovih područja: *Quantitative genetics and breeding* (53); *Biochemical and molecular genetics* (45); *Cell and developmental biology* (39); *Computational and large-scale biology* (29); *Transposons and epigenetics* (20), a ostala područja istraživanja prezentirana kroz poster sekciju bila su *Evolution and population genetics* (11); *Cytogenetics* (4); *Education and outreach* (4). Tematika ovoga važnog skupa jasno pokazuje istraživačke smjerove koje slijedi moderno istraživanje genetike i oplemenjivanja kukuruza, a ono što je vidljivo iz programa je koliko se nekada odvojene grane istraživanja – poput genetike, biokemije, molekularne biologije ili računalnih znanosti – danas više ili manje preklapaju.

* Početkom 2020. godine u Kini je izbila epidemija virusa SARS-CoV-2 (poznatijeg kao koronavirus), koja se ubrzo proširila po cijelom svijetu te postala najveća pandemija u zadnjih 100 godina (zadnja velika pandemija bila je španjolska gripa u razdoblju od 1918. do 1920. godine). Širenje koronavirusa uzrokovalo je djelomičnu ili potpunu blokadu putovanja, a gotovo svi važniji vidovi društvenog funkcioniranja prilagođeni su novim epidemiološkim uvjetima. Tako je dobar dio skupova vremenom otkazan, a kasnije i preoblikovan u online verzije. Iako je održavanje skupova na internetu vrlo ograničen način okupljanja i dijeljenja informacija, pokazalo se da to zapravo vrlo dobro funkcionira te još jednom istaknulo važnost umreženosti i međunarodne suradnje.

Laboratorij za genetiku i oplemenjivanje kukuruza (*Illinois Maize Breeding and Genetics Laboratory*) u sklopu Sveučilišta u Illinoisu od 1965. godine organizira poznati skup *Illinois Corn Breeders' School* (2020. godine održao se 56. po redu), na kojemu se okupljaju oplemenjivači i znanstvenici iz cijelog svijeta kako bi prezentirali i podijelili najnovije spoznaje uvijek aktualne problematike u oplemenjivanju kukuruza.

Znanstveni časopisi i ostala pisana glasila

Znanstvena istraživanja u svim granama znanosti objavljuju se kao radovi u relevantnim znanstvenim časopisima kroz indeksiranje u raznim bazama podataka. Neki od časopisa u kojima se objavljuju istraživanja na kukuruzu su *Molecular Plants* (faktor odjeka ili eng. *impact factor* – IF u 2023. godini bio je $IF_{2023} = 21,95$), *Nature Communications* ($IF_{2023} = 17,69$), *PNAS* ($IF_{2023} = 12,78$), *Trends in genetics* ($IF_{2023} = 11,82$), *Current Biology* ($IF_{2023} = 10,90$), *Frontiers in Plant Science* ($IF_{2023} = 6,63$), *Field Crops Research* ($IF_{2023} = 6,15$), *Environmental and Experimental Botany* ($IF_{2023} = 6,03$), *PLOS Genetics* ($IF_{2023} = 6,02$), *European Journal of Agronomy* ($IF_{2023} = 5,72$), *Theoretical and Applied Genetics* ($IF_{2023} = 5,57$), *Scientific Reports* ($IF_{2023} = 5,00$), *Plants MDPI* ($IF_{2023} = 4,66$), *The Crop Journal* ($IF_{2023} = 4,65$), *Agronomy MDPI* ($IF_{2023} = 3,95$), *PLOS One* ($IF_{2023} = 3,75$), *Crop Science* ($IF_{2023} = 2,76$), *Journal of Heredity* ($IF_{2023} = 2,68$), *Agronomy Journal* ($IF_{2023} = 2,65$), *Hereditas* ($IF_{2023} = 2,60$), *Cereal Research Communications* ($IF_{2023} = 1,24$), *Maydica* ($IF_{2023} = 0,91$) i mnogi drugi. Za usporedbu, neki od najcjenjenijih znanstvenih časopisa uopće u svijetu – u kojima se isto tako objavljuju i istraživanja na kukuruzu – su *Nature* ($IF_{2023} = 69,50$), *Science* ($IF_{2023} = 63,83$), *Nature Reviews Genetics* ($IF_{2023} = 59,58$), *Nature Genetics* ($IF_{2023} = 41,31$) i drugi. Časopisi koji su ovdje navedeni pripadaju raznim područjima istraživanja, od genetike i genomike do fiziologije i agronomije.

Postoje razne baze podataka koje registriraju (indeksiraju) objavljene radove i koje na taj način rangiraju znanstvene časopise (*Web of Science* – WoS), *Current Contents* – CC, *Scopus*, CABI i druge). Nakon što se znanstveni rad uvede u bazu, dostupan je drugim znanstvenicima koji ga koriste kao literaturu za svoja istraživanja (mnogi časopisi su otvorenog ili tzv. *open access* karaktera pa im može pristupiti bilo tko, neovisno o institucionalnoj pripadnosti

te razini ili području stručnosti). Svaki korišteni rad mora se citirati, a upravo citiranost nekog rada je ono što mu daje vrijednost jer svaki citat znači da je taj rad dio nekog daljnjeg istraživanja, dakle aktivan je i koristan. Pokazatelji vrijednosti nekog časopisa su njegov faktor odjeka i drugi pokazatelji kao što su ukupan broj citata, brzina citiranja, h-indeks ili pripadnost određenom kvartilu. Kako se način bavljenja znanosti mijenja, tako se mijenjaju i vrijednosni pokazatelji (primjerice nekada je sam broj citata bio puno važnije mjerilo, ali u vremenu multidisciplinarnosti i umrežavanja neki drugi pokazatelji, poput h-indeksa, dolaze do izražaja). Neke od platformi za procjenu vrijednosti časopisa su *SCImago Journal Rank* (SJR), *CiteScore*, *Eigenfactor* i drugi. Treba spomenuti i izdavačke institucije koji se bave izdavanjem znanstvenih časopisa – neki od najvećih izdavača trenutno su *RELX* (bivši *Reed Elsevier*, UK), *Springer Nature* (Njemačka, Ujedinjeno Kraljevstvo), *Wiley-Blackwell* (SAD), *Taylor & Francis* (UK), Sage (SAD) i drugi. Prema istraživanju **Larivière i sur.** (2015.), koje je zasnovano na 45 milijuna radova izdanih i indeksiranih u bazi podataka *Web of Science* u razdoblju između 1973. i 2013. godine, vodećih pet izdavača bilo je odgovorno za izdavanje više od 50 % svih znanstvenih radova izdanih u raznim časopisima u 2013. godini.

Koncept znanstvenog časopisa kao pisanog glasila zaživio je od 1665. godine kada je stvoren prvi časopis (*Journal des Sçavansand and the Philosophical Transactions of the Royal Society of London*) koji je počeo izlaziti u Francuskoj i Engleskoj (**Larivière i sur.** 2015.). Promocija i dijeljenje znanja i spoznaja dobivenih istraživanjima na isti način traje i danas, više od 350 godina kasnije, što je zapravo bila i još uvijek jest glavna odskočna daska za napredak, kako spoznaja o genetici, evoluciji i oplemenjivanju kukuruza, tako i društva u cjelini.

Maize Genetics Cooperation Newsletter (MNL) zbirka je istraživanja i aktualnih informacija u istraživanju kukuruza. Izlazi jednom godišnje od 1929. godine, a njen osnivač je R. A. Emerson sa Sveučilišta Cornell (**Kass i sur.** 2005.). Od 2015. godine izlazi samo u elektronskom izdanju. Isto tako, zbornici radova sa znanstvenih i stručnih skupova, stručni časopisi te ostale brošure, priručnici i glasnici zajedno predstavljaju vrijedan izvor informacija o trenutnim istraživanjima, trendovima i aktualnom stanju znanstvene i stručne misli u istraživanjima o kukuruзу.

Baze podataka

Razvojem znanstvenih istraživanja rasla je i njihova razina složenosti te sama količina podataka, što je automatski podrazumijevalo stvaranje i korištenje detaljnijih baza podataka (eng. *database* ili prema prijašnjim nazivima *library*; danas se koristi i pojam *resources*). U početku su se podatci u sve baze podataka prikupljali fizički (dokumenti, fascikli, registratori, enciklopedije, udžbenici i drugo) te pohranjivali na jedno mjesto, uglavnom knjižnicu ili arhiv ustanove koja je te poslove obavljala (sveučilišta i ostale institucije za visoko obrazovanje). Ipak, razvojem znanosti razvijala se i računalna tehnologija, a količina podataka nezaustavljivo je rasla pa su se stare baze podataka vremenom digitalizirale i prebacile na mrežu (**Codd** 1970.). Neke od najranijih javno dostupnih bioloških baza podataka za pohranjivanje sekvenca DNK bile su EMBL (*European Molecular Biology Laboratory*), koja je osnovana 1980. godine od strane Europskog bioinformatičkog instituta (*European Bioinformatics Institute* – EBI) (**Stoesser i sur.** 1997.), DDBJ (*DNA Data Bank of Japan*), koja je počela s radom 1986. godine (**Tateno i Gojobori** 1997.) i GenBank koju je osnovao američki NCBI (*National Center for Biotechnology Information*) 1992. godine (**Benson i sur.** 1997.).

Dakle, svaka relevantna baza podataka danas je prije svega *on-line* baza jer se u velike baze podataka pohranjuju genomski podaci, primjerice spojene sekvence ili fragmenti gena (eng. *genome assembly*) te zbog toga što je količina generiranih podataka sa stalno obnavljajućim metodama visoke propusnosti veća nego ikada prije, a i povećava se brže nego ikada prije. Ono što još nismo do kraja odgovorili je na koji način će nam informacije iz takve ogromne količine podataka dugoročno koristiti. To samo po sebi povlači potrebu implementacije novijih metoda koje će pružiti odgovarajuću podršku u smislu obrade podataka. U današnje vrijeme – a i već neko vrijeme u prošlost – problem više nije generiranje i dostupnost informacija, nego odgovor na pitanje kako odabrati informacije koje su važne i informativne. Postoji više tipova baza podataka (**Lawrence i Ware** 2009.): od osnovne poput LIMS (*Laboratory Information Management System*) preko SR (*Static Repository*) za dugoročno pohranjivanje pa do MOD (*Model Organism Database*) ili COD (*Clade-Oriented Database*). Vezano uz ovu kategorizaciju, mnoge baze podataka stvaraju se u sklopu određenih projekata. Neke od njih prerastu u nešto veće ili čak postanu samostalni projekt kao takve, no mnoge baze aktivno postoje

samo dok traje projekt, nakon čega se gase ili prenamjenjuju i dalje koriste u drugim istraživanjima. Baze podataka koje su pronađene u literaturi, a koje već dugo nisu ažurirane ili im je poveznica nevažeća, nisu posebno opisivane u ovome dijelu (SAM, MaizePLEX, TIGR Maize, Maize Tilling, MaizecDNA, PML, VPhenoDBS, Maize Cellgenomics Database i druge). Općenito, baze podataka već neko vrijeme predstavljaju nužan alat u istraživanju kukuruza (Nannas i Dawe 2015.), a njihova važnost u budućnosti može se samo povećavati.

Baza podataka *Maize Genetics/Genomics Database* ili skraćeno *MaizeGDB* je državno (USDA-ARS) organizirani projekt za prikupljanje i integraciju genetičkih i genomskih podataka u javno dostupnu bazu podataka (Andorf i sur. 2019.) koja pruža alate potrebne u istraživanjima i oplemenjivanju kukuruza. U bazi trenutno postoje vrijedni genomski podaci za mnoge važne inbred linije, uključujući B73, B104, Mo17, PH207 i druge. Ova je baza primjerice MOD tipa. <https://www.maizegdb.org>

MAGI (Maize Assembled Genomic Island) baza podataka koja prikuplja genomske informacije na projektu kojega vodi nekoliko istraživačkih skupina (Fu i sur. 2005.). Vremenom se sadržaj s MAGI projekta (2005. - 2013.) prebacio na stranicu MaizeGDB te je dostupan preko pretraživača u toj bazi. <http://magi.plantgenomics.iastate.edu/>

Panzea je projekt sponzoriran od strane američke Državne zaklade za znanost (NSF) pod nazivom *Biologija rijetkih alela kukuruza i njegovih divljih srodnika (Biology of Rare Alleles in Maize and its Wild Relatives)*, koji se nastavlja na završeni projekt pod nazivom *Genetička arhitektura kukuruza i teozinte (The Genetic Architecture of Maize and Teosinte)*. Cilj projekta Panzea je proširiti znanja i spoznaje o evoluciji, održivoj poljoprivredi, genetičkoj raznolikosti i očuvanju okoliša, educirati nove znanstvenike i stvoriti važne resurse kako za javnost, tako i za nastavnike i istraživače (Zhao i sur. 2006.). <https://www.panzea.org/>

ZmGDB je baza podataka i dio je veće baze *Plant GDB* koju isto tako financira NSF. U njoj se mogu naći genomske sekvence kukuruza koje mogu pomoći u razjašnjavanju prikaza genoma kukuruza, a poseban fokus stavljen je na strukturu gena (Duvick i sur. 2008.). <http://www.plantgdb.org/ZmGDB/>

Gramene je javno dostupna baza podataka preko koje se može pristupiti genomskim i drugim (proteini, mape, markeri, genetička raznolikost i drugo) informacijama o raznim vrstama bilja (ukupno 2 475 408 gena u 67 genoma različitih vrsta biljaka, uključujući i kukuruz – **Maizesequence** sadrži genomске sekvence kukuruza prikupljene pri projektu sekvencioniranja genoma kukuruza) (**Tello-Ruiz i sur.** 2018.).

<http://www.gramene.org/http://www.maizesequence.org/index.html>

http://ensembl.gramene.org/Zea_mays/Info/Index

Ensembl Plants, slično kao i prethodna baza sadrži javno dostupne genomске informacije 67 različitih vrsta bilja koje se mogu upotrijebiti za razna daljnja istraživanja i ostale namjene. Ovaj sustav označavanja, analize i predstavljanja genoma kraljeznjaka osmislili su zajednički EMBL-EBI i Institut Sanger (*Wellcome Sanger Institute*) 2000. godine, a 2009. godine dodano je pet novih odjela od kojih je jedan odjel bio za biljke (*Ensembl Plants*) (**Howe i sur.** 2019.). <https://plants.ensembl.org>

Ranije spomenuta **GenBank** je baza podataka Nacionalnog centra za biotehnoške informacije (*National Center for Biotechnology Information – NCBI*), koji je dio Nacionalne medicinske knjižnice (*National Library of Medicine – NLM*) američkog Nacionalnog instituta za zdravstvo (*National Institute of Health – NIH*), u kojoj se pohranjuju genske sekvence koje su dostupne javnosti i svim drugim institucijama (**Benson i sur.** 2013.). Unutar ove baze podataka nalazi se baza NCBI Maize u kojoj je pohranjen veći broj DNK sekvence kukuruza (cDNA, EST, GSS, HTG). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/gdv/?org=zea-mays>

Europski institut za bioinformatiku (*European Bioinformatics Institute – EBI*) (također ranije spomenut kao jedna od najranijih baza podataka) osnovan je 1994. godine u sklopu Europskog laboratorija za molekularnu biologiju (EMBL) i predstavlja važnu platformu u genomskim istraživanjima jer pohranjuje veliki broj lako dostupnih sekvenca nukleotida DNK u svojim bazama podataka (**Chojnacki i sur.** 2017.). <https://www.ebi.ac.uk/>

Phytozome je baza podataka u sklopu JG Instituta američkog Odjela za energiju (*U.S. Department of Energy (DOE) Joint Genome Institute – JGI*) u kojoj se pohranjuju sekvencionirani genomi raznih biljnih vrsta, točnije 93 ge-

noma iz 82 biljne vrste (**Goodstein i sur.** 2012.), uključujući i genom poznate *ex-PVP* inbred linije PH207 (**Hirsch i sur.** 2016.).

<https://phytozome.jgi.doe.gov/pz/portal.html>

Grassius je javno dostupni izvor (eng. *web resource*) koji sadrži kolekciju baza podataka (kolekcija transkripcijskih faktora na *GrassTFDB*, regulatornih bjelančevina na *GrassCoRegDB* i drugo) te izvora vezanih uz kontrolu ekspresije gena kod trava (uključujući i kukuruz) i njihovu vezu sa svojstvima od interesa (**Yilmaz i sur.** 2009.; **Burdo i sur.** 2014.). Glavni je cilj ove platforme olakšati istraživanja i povezanost znanstvene zajednice u pogledu ekspresije gena u cijelom genomu. <http://www.grassius.org/>

mtmDB je baza podataka u koju su pohranjeni transpozoni kukuruza u svrhu istraživanja genskih funkcija preko selekcije tzv. genskih nokauta (eng. *gene knockout*). <http://mtm.cshl.edu/>

The Maize Full Length cDNA Project trogodišnji je projekt dvaju američkih sveučilišta (Arizona i Stanford) čiji je cilj bio sekvencionirati 30 000 FLcDNA klonova koristeći liniju B73 kao izvor (**Soderlund i sur.** 2009.). <http://www.maizecdna.org/>

Maize doctor jednostavna je baza podataka u CIMMYT-u, a prije svega odnosi se na proizvodnju kukuruza, najvažnije bolesti i štetnike i predstavlja jednostavne, postupne metode pomoću kojih se mogu rješavati problemi u proizvodnji kukuruza (<http://maizedoctor.cimmyt.org/>). Baza podataka **Ancient Maize Map** detaljnije je opisana u drugom poglavlju o podrijetlu kukuruza. Još neke baze podataka koje nisu specijalizirane samo za kukuruz su **GRIN** (USDA-ARS), **Plant GDB** (NSF), **NCBI** (NIH), **JCVI** (NSF) i druge. **AgBioData** je novoosnovano udruženje poljoprivrednih bioloških baza podataka čiji je cilj kroz zajednički rad osigurati visoke standarde upotrebe genomičkih, genetičkih i oplemenjivačkih podataka (**Harper i sur.** 2018.).

MaizeDIG (*Maize Database of Images and Genomes*) nova je baza podataka u kojoj se mogu naći razne genetičke i genomske informacije (**Cho i sur.** 2019.). U ovoj bazi genetički podaci mogu se integrirati s brojnim fenotipskim slikama mutanata kukuruza. <http://maizedig.maizegdb.org/>

Na kraju ovoga dijela poglavlja navedeni su neki najvažniji istraživački pravci u zadnjih dvadesetak godina istraživanja na kukuruзу.

Biljna genetička raznolikost (eng. *plant genetic diversity*) istražuje se već stoljećima, no tek u relativno novije vrijeme (druga polovina 20. stoljeća) počinje se ozbiljnije raspravljati o očuvanju biološke raznolikosti i konzervaciji germplazme, odnosno biljnih genetičkih izvora. Tako se vremenom i kod kukuruza više pozornosti počelo pridavati očuvanju raznolikosti germplazme, proširenju varijabilnosti oplemenjivačkih populacija, ali i istraživanju podrijetla germplazme kako bi se što točnije utvrdilo kojim se pravcima kukuruz u prošlosti kretao. Danas proučavanje biološke raznolikosti biljaka i životinja, zajedno s očuvanjem flore i faune te biljnih genetičkih izvora predstavlja široko i zanimljivo područje ljudskog djelovanja čija se važnost za čovječanstvo sve više povećava (Tait 2008.; Wilson 2016.).

Sekvencioniranje genoma (eng. *genome sequencing*) kukuruza na liniji B73 (Schnable i sur. 2009.) predstavljalo je jedan od povijesnih koraka prema razumijevanju strukture i složenosti kukuruznog genoma. Projekt na kojemu je sudjelovalo više od 150 znanstvenika s više istraživačkih institucija završen je 2009. godine, od kada je genom linije B73 dostupan kao referentni genom za daljnja istraživanja (Ganal i sur. 2011.). Uslijed potrebe za sve bržim sekvencioniranjem sve većeg broja uzoraka u zadnjih 10 - 15 godina razvilo se **sekvencioniranje nove generacije** (eng. *next generation sequencing* – NGS) s platformama Illumina, SOLiD, 454 i PacBio (Huang i sur. 2018.).

Mapiranje (kartiranje) lokusa kvantitativnih svojstava (eng. *quantitative trait loci* ili *QTL mapping*) bila je svojevrsna revolucija u genetičkim istraživanjima. Međutim, brzim razvojem genetike i bioinformatike u zadnjih 30-ak godina postalo je moguće detaljnije, boljom rezolucijom proučavati određene genomske regije, a ne tek neprecizno određene fragmente DNK. Genomska istraživanja i predviđanja i genomska selekcija (eng. *genomic selection* – GS) postali su važni alati u prikupljanju informacija i stvaranju šire slike u genetičkim istraživanjima kod kukuruza, ali i u oplemenjivačkim programima (Cerrudo i sur. 2018.; Millet i sur. 2019.). Ideja iza QTL mapiranja je povezivanje genotipa i fenotipa (eng. *association studies* ili *association mapping*), kako bi se dobila potpunija slika o nekoj biljnoj vrsti (Yan i sur.

2011.), što je vremenom preraslo u mapiranje puno većih regija genoma (eng. *genome-wide association study* ili **GWAS**). Od sekvencioniranja genoma linije B73 broj GWA studija naglo je porastao (**Xiao i sur.** 2017.), od svega pet 2009. godine, do 27 studija 2013. godine te 33 studije 2015. godine.

Genetički modificirane (GM) biljke (eng. *genetically modified plants*) više su se počele proučavati još 1980-ih godina prošloga stoljeća. Dobivanje GM biljaka zasniva se na transformaciji (eng. *transformation*), odnosno unošenju i inkorporaciji genetičkog materijala nesrodnih vrsta u stanicu primatelja, što su mnogi znanstvenici u početku proglasili neprirodnim i etički pogrešnim. Ipak, mogućnost transformacije biljaka pokrenula je cijelo novo područje proučavanja u biljnim znanostima te iznjedrila razne metode kojim se u biljna tkiva unosi genetički materijal drugih, nesrodnih organizama (**Wang i sur.** 2009.; **Yadava i sur.** 2017.). Prvi genetički modificirani kukuruz otporan na herbicid glifosat komercijaliziran je 1996. godine, a vrlo brzo nakon toga GM kukuruz proširio se poljima Sjedinjenih Američkih Država, gdje danas zauzima preko 90 % površina. S druge strane, GM kukuruz nije naišao na dobrodošlicu europskih proizvođača te je u većini europskih zemalja još uvijek zabranjen. **Klümper i Qaim** (2014.) napravili su meta-analizu s ukupno 147 objavljenih istraživanja o GM usjevima od 1996. do 2014. godine, a zaključili su kako je korištenje GM usjeva smanjilo upotrebu pesticida, a povećalo prinos i profit proizvođača, pogotovo u zemljama u razvoju. Nakon meta-analize dvadeset jedne godine istraživanja (1996. - 2016.) **Pellegrino i sur.** (2018.) uvrdili su kod GM usjeva povećan prinos, uz nižu koncentraciju mikotoksina. Posebna vrsta genetičkih modifikacija je **uređivanje gena/genoma** (eng. *gene/genome editing*) kojom se DNK može ubaciti u genom, ali na specifično ciljano mjesto, za razliku od ranijih modifikacija kojima se genetički materijal ubacivao na slučajno odabrana mjesta (**Bak i sur.** 2018.). Jedna od najnovijih tehnologija je **CRISPR** (*Clustered Regularly Interspaces Short Palindromic Repeats*), odnosno CRISPR/Cas9 (*CRISPR-Associated protein 9 nuclease*), koja predstavlja značajan napredak zbog mogućnosti stvaranja ciljanih mutacija na jednostavan i učinkovit način (**Liu i sur.** 2020.).

Jedan od najvećih izazova u oplemenjivanju kukuruza bio je istražiti mehanizme složenih **interakcija genotipa i okoline** (eng. *G×E interaction*) te raznim metodama selekcije i agronomskim mjerama što više smanjiti utjecaj

okoline. Svaki genotip drugačije reagira na promjene u okolini što se jasno može vidjeti i u testiranju hibrida – vrlo rijetko (zapravo gotovo nikada) dogodi se da neki hibrid ima izvanserijski visoke rezultate u svakoj sezoni. Kao i kod drugih živih organizama, zbog specifičnosti i kompleksnosti interakcija s okolinom vrlo je teško proniknuti u mehanizme koji upravljaju variranjem kvantitativnih svojstava pa je ovaj problem i danas ostao jedna od najvećih prepreka za istraživače i oplemenjivače diljem svijeta (**Bustos-Korts i sur.** 2016.; **Malosetti i sur.** 2016.; **van Eeuwijk i sur.** 2016.). Isto tako, jedan od novijih pojmova koji se u zadnje vrijeme koristi je **interakcija genotipa, okoline i upravljanja** (eng. *G×E×M interaction*) – neki u ovaj kompleks dodaju i S, odnosno socioekonomske čimbenike – koja zapravo povezuje i većinu ostalih pojmova navedenih u ovome pregledu (genetička raznolikost, QTL analiza, GWAS, modeliranje).

Postoje mnogi važni genetički koncepti koji su i danas vrlo aktualni u genetičkim, genomskim i drugim istraživanjima na kukuruzu, bilo kao samostalne teme ili kao dijelovi veće cjeline. To su koncepti poput određivanja komponenata varijance, genetičkih korelacija, pleiotropije, (neravnoteže) vezanosti gena, epistatičkog djelovanja gena i drugi. Isto tako, dio agronomskih istraživanja vezanih za kukuruz usmjeren je prema upotrebi **simulacijskih modela**, koji služe kako bi se primjerice procijenio rizik poljoprivredne proizvodnje, potencijal prinosa na određenom području i drugo. Kako je kukuruz biljka unutar agroekosustava, dio je složenih interakcija sa svojom okolinom, što uključuje prirodne pojave, ali i ljudsko djelovanje i njegove mnogobrojne aktivnosti. Neki od agronomskih modela pomoću kojih su se ti mehanizmi proučavali uključuju modele CERES-maize (**Ritchie** 1986.), EPIC (**Jones i sur.** 1991.), APSIM (**Keating i sur.** 2003.), CSM-IXIM (**Lizaso i sur.** 2011.) i druge. Važno je također naglasiti kako unutar statističkog dijela istraživanja obrada podataka dosta ovisi o odabiru ispravnog **matematičkog modela** koji će najbolje interpretirati unesene podatke. Može se reći kako složena problematika istraživanja kukuruza u velikoj mjeri ovisi i o pravilnoj i pravovremenoj upotrebi matematičkih modela.

Za kraj vrijedi spomenuti koliko je bitno odrediti *smjer* i *fokus* istraživanja. Danas su sve brojnija multidisciplinarna istraživanja gdje se u jednom istraživanju preklapa nekoliko više ili manje bliskih disciplina. Štoviše, u današnje vrijeme jaki istraživački timovi u sklopu svojih kratkoročnih i dugoročnih

ciljeva djeluju na više strana, što rezultira znanstvenim radovima koji u sebi sadrže nekoliko ključnih točaka iz više polja istraživanja, a ne samo jednu glavnu koja se ranije definira i potom kroz istraživanje realizira. U slučaju agronomskih istraživanja to su primjerice radovi u kojima se proučava utjecaj fotosinteze na prinos kukuruza, uz korištenje seta podataka dobivenih genotipizacijom – to znači da se promatra agronomsko svojstvo (prinos), odnosno kako na to svojstvo utječe neki fiziološki mehanizam, koristeći (između ostalih) genetičke podatke. Isto tako, navedeni primjer može se obrnuti pa naglasak staviti na genetičke podatke i napisati rad iz genetike uz korištenje agronomskih i fizioloških podataka kao dodatnih varijabli.

Kako je već spomenuto, kukuruz je najistraženija biljka u genetici i oplemenjivanju bilja. Mnogobrojna istraživanja vremenom su kukuruz dovela do statusa biljke modela, po uzoru na koji se vrše mnoga druga istraživanja i određuju mnogi drugi znanstveni pravci na drugim kulturama. Istraživanje i znanstveni rad doveli su do razvoja tehnologije, a time i agronomije i samog oplemenjivanja kukuruza, stoga uvijek vrijedi dodatno naglasiti kako znanost ima presudnu važnost kako na oplemenjivanje kukuruza tako i na društvo u cjelini.



Slika 129. Klijovi iz raznih populacija podrijetlom iz Hrvatske, Meksika, Sjedinjenih Država i Kine.

Istraživačka aktivnost na Poljoprivrednom institutu Osijek

Poljoprivredni institut Osijek (PIO) 2023. godine slavi 145 godina postojanja i uspješnog djelovanja. Od svog osnutka 1878. godine Institut uspješno kombinira znanstvena istraživanja s oplemenjivanjem i sjemenarstvom najvažnijih ratarskih kultura u Hrvatskoj. Prvi komercijalni hibrid kukuruza na Institutu priznat je 1964. godine, a do danas je taj broj narastao na preko 240 priznatih hibrida kukuruza u Hrvatskoj i inozemstvu. Priznati kultivari plod su uspješne koordinacije znanstvenog rada preko istraživanja u sklopu znanstvenih projekata te brojnih stručnih aktivnosti od polja do laboratorija, što sve zajedno Institut čini jednom od vodećih ustanova u regiji kada se govori o istraživanjima vezanim uz kukuruz. Dobiveni rezultati prezentiraju se na znanstvenim skupovima (Hrvatski simpozij agronoma, Društvo genetičara Srbije, EUCARPIA, Maize Genetics Conference i drugi) te u relevantnim znanstvenim i stručnim časopisima, kako lokalnima i regionalnima poput časopisa *Poljoprivreda* (HRV) ili *Genetika* (SRB), tako i međunarodnima poput *Frontiers*, *Plants*, *Genes* ili *Journal of Heredity*.



Slika 130. Zaražavanje klipova kukuruza otopinom koja sadrži fuzarijske spore (Vlatko Galić).



Slika 131. Sekundarni porast korijena oštećene biljke, ispitivanje tolerantnosti linija kukuruza na kukuruznu zlaticu.

1996.; Šimić 1999.; Zdunić i sur. 2002.; Brkić i sur. 2003.a; Šimić i sur. 2003.a; Ivezić i sur. 2006.; Ivezić i sur. 2009.; Ivezić i sur. 2011.; Mazur i sur. 2019.; Brkić i sur. 2020.b), genetika (Brkić i sur. 2003.b; Jambrović i sur. 2008.; Šimić i sur. 2009.c; Sorić i sur. 2011.; Šimić i sur. 2011.; Jambrović i sur. 2014.; Šimić i sur. 2014.; Zdunić i sur. 2014.; Galić i sur. 2017.; Galić i sur. 2019.b; Galić i sur. 2020.a; Malenica i sur. 2021.), biometrika (Šimić i sur. 2001.; Šimić i sur. 2003.b; Šimić i sur. 2004.), biologija (Brkić i sur. 2003.a; Brkić i sur. 2004.; Šimić i sur. 2009.a, b; Lepeduš i sur. 2012.; Franić i sur. 2017.; Franić i Galić 2019.), kukuruz za posebne namjene (Ledenčan i sur. 2008.a, b; Zdunić i sur. 2008.) i druga.



Slika 134. Berba pokusa kukuruza šećerca (Tatjana Ledenčan).

U sljedećem kratkom pregledu prema godini osnivanja navedene su ostale relevantne institucije koje se bave istraživanjem kukuruza u Hrvatskoj.

Visoko gospodarsko učilište u Križevcima s radom je započelo 1860. godine kao najstarije poljoprivredno i šumarsko učilište u jugoistočnoj Europi. Prvi istaknuti istraživači na učilištu bili su Gustav Bohutinsky, jedan od pionira u radu na selekciji kukuruza u Hrvatskoj, ali i u Europi te Vinko Mandekić koji je nastavio njegov rad. Na učilištu u Križevcima diplomirao je i Mislav Demerec, kasnije priznati genetičar kukuruza u Sjedinjenim Američkim Državama.

Bc Institut za oplemenjivanje i proizvodnju bilja, d.d. osnovan je 1897. godine. Od svoga osnutka institut se uspješno bavi znanstveno-istraživačkim radom, a više od 60 godina bavi se i oplemenjivanjem i sjemenarstvom kukuruza i ostalih važnih ratarskih kultura.

Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu osnovan je 1919. godine i predstavlja jednu od najvažnijih ustanova u Hrvatskoj i regiji u području biotehničkih znanosti. Istaknutiji članovi fakulteta koji su se bavili genetikom i oplemenjivanjem bilja bili su Alois Tavčar, Vinko Kozumplik i drugi.

Fakultet Agrobiotehničkih Znanosti Osijek (bivši Poljoprivredni fakultet u Osijeku), **Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku**, osnovan je 1960. godine i do danas predstavlja jednu od najvažnijih ustanova za istraživanja u području biotehničkih znanosti u Hrvatskoj i šire.

Detaljniji doprinos navedenih institucija u istraživanju i oplemenjivanju kukuruza u Hrvatskoj naveden je u monografiji pod nazivom *Oplemenjivanje poljoprivrednog bilja u Hrvatskoj* (urednici Kozumplik i Pejić).

U ovome dijelu knjige naveden je veliki broj znanstvenika i institucija koje su sudjelovale i još uvijek sudjeluju u istraživanjima na kukuruzu. Kako je to bilo zamišljeno kao povijesni pregled, dobar dio navedenih osoba i institucija vezani su uz 20. stoljeće. Kao i većina popisa o najistaknutijim pojedincima, ovaj popis također je nepotpun.

U zadnjih se 50-ak godina dogodio (mnogi će reći nastavio) pravi procvat znanosti. Broj istraživača i relevantnih znanstvenih institucija naglo je porastao i još uvijek raste, do te mjere da je danas postalo vrlo teško precizno vrednovati nečiji znanstveni doprinos. Nekada je pionira istraživanja bilo nekoćicina pa kasnije sve više, ali puno se lakše moglo odrediti one najistaknutije istraživače, kako na polju primjerice fizike ili kemije, tako i na polju agronomije ili genetike. Danas – u doba umreženosti ljudi, institucija, projekata i baza podataka – to je znatno teža zadaća, kroz korištenje brojnih pokazatelja poput broja citata, H-indeksa, Hm-indeksa, poretka autora na radu i mnogih drugih (**Ioannidis i sur.** 2016.). Buduće liste svakako će biti puno opsežnije, što potvrđuje rast i razvoj znanosti kao najboljeg alata za spoznavanje čovjekove uloge u svijetu.



3.5. Značaj očuvanja germplazme

Prirodni resursi na našoj planeti dobili su razmjerno više pozornosti tek u prvoj polovini 20. stoljeća, kada je sve više ljudi počelo shvaćati da njihova dostupnost nije neograničena kako se prije često smatralo. Potreba za očuvanjem resursa (a time i okoline) sve više je rasla, a razni novi pokreti i projekti izrasli su iz te težnje. Međutim, izazovi su postajali sve veći – kako prehraniti stanovništvo, osigurati mu bolju kvalitetu života i osigurati daljnje napredovanje, a u isto vrijeme živjeti održivo, racionalno gospodariti resursima i ne uništavati okolinu u kojoj živimo. U takvoj klimi, koja prevladava i danas, prirodni resursi kao što su ratarski usjevi i mnoge druge vrste bilja, postali su strateški važne točke – **biljni genetički izvori** – kojima se sprječava opadanje bioraznolikosti i štiti sama priroda. Zaštita prirode jedna je od temeljnih težnji čovječanstva, unatoč mnogim drugim čimbenicima koji su sveprisutni u ljudskom društvu, a čine upravo suprotno – neodrživa proizvodnja, loša distribucija i bacanje hrane uz ogromno zagađivanje zemlje, vode i zraka kao osnovnih elemenata staništa svih živih bića. Napredak čovječanstva od posljedice ljudske genijalnosti mogao bi postati i uzrok njegove propasti.

Charles Mann u svojoj knjizi *The wizard and the prophet* (Mann 2018.) kroz biografije dvojice poznatih znanstvenika detaljno i vješto opisuje dva suprotstavljena svjetonazora koji već desetljećima oblikuju moderno društvo. Norman Borlaug i poznati pokret pod nazivom **Zelena revolucija**, odnosno iskorištavanje Zemljinih resursa zbog ljudske dobrobiti predstavljaju jednu stranu, dok su s druge strane William Vogt i ekološki pokret koji počiva na održivom korištenju resursa i zaštiti okoliša. Vogtova knjiga pod nazivom *Road to survival* izdana 1948. godine te knjiga Rachel Carson pod nazivom *Silent spring* izdana 1962. godine, neka su od najvažnijih djela koja su potaknula **ekološki pokret**. I danas slobodno možemo reći kako se cijeli naš životni prostor i vrijeme svode na ova dva svjetonazora – kako napredovati i razvijati se u svakom mogućem smislu (napredak i rast znanosti, društva, tehnologije, spoznaje, populacije), a da to u isto vrijeme bude održivo. Spomenuta svjetska organizacija FAO osnovana je polovinom 20. stoljeća. Iako je primarni cilj te organizacije sprječavanje gladi i siromaštva u svijetu kroz unaprjeđenje poljoprivrede, ona predstavlja i važan izvor informacija za sve ustanove koje se bave konzervacijom germplazme i očuvanjem biljnih genetičkih resursa.

Biljna raznolikost, kao i raznolikost unutar svake važne biljne vrste poput kukuruza do danas je poprilično istražena, kako u pogledu oplemenjivanja (**Lu i Bernardo** 2001.; **Labate i sur.** 2003.; **Mikel** 2008.; **Nelson i sur.** 2008.) tako i u pogledu određivanja podrijetla i evolucije kukuruza (**Mir i sur.** 2013.; **Brandenburg i sur.** 2017.; **Bedoya i sur.** 2017.; **Kistler i sur.** 2018.), ali primjetno je kako potreba za očuvanjem biološke raznolikosti zadnjih desetljeća svejedno sve više raste. Početni veći impuls pri istraživanju biološke raznolikosti kod kukuruza bio je uvjetovan oplemenjivačkim, odnosno agronomskim i gospodarskim čimbenicima, dok u zadnje vrijeme raznolikost dobiva na važnosti zbog sve izraženije težnje očuvanja ekosustava općenito i raznolikosti kao takve (**Guzzon i sur.** 2021.). Kako je rasla težnja za očuvanjem okoliša tako je i biološka raznolikost *per se* dobivala (ili možda bolje rečeno vraćala) svoje sve važnije mjesto. Općenito se zaštita prirodnih resursa veže uz dugoročno društveno blagostanje.

Poznata međunarodna organizacija **CGIAR** (*Consultative Group for International Agricultural Research*), osnovana 1971. godine, za svoje glavne ciljeve postavila je rješavanje problema siromaštva, gladi, neishranjenosti, poboljšavanje zdravstvenog stanja ljudi u nerazvijenim regijama svijeta, ali i brigu o ekosustavu i održavanje prirodnih resursa, što uključuje i konzervaciju germoplazme. Istraživački centri CGIAR-a uključuju istraživačke centre diljem svijeta: *Africa Rice Center*, *Bioversity International*, *Centro Internacional de Agricultura Tropical* (CIAT), *Center for International Forestry Research* (CIFOR), *Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo* (CIMMYT), *Centro Internacional de la Papa* (CIP), *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas* (ICARDA), *International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics* (ICRISAT), *International Food Policy Research Institute* (IFPRI), *International Institute of Tropical Agriculture* (IITA), *International Livestock Research Institute* (ILRI), *International Rice Research Institute* (IRRI), *International Water Management Institute* (IWMI), *World Agroforestry Center* (bivši ICRAF), *World Fish*.

Ovo su isto tako razne institucije, programi, projekti i zakoni za očuvanje biljnih genetičkih izvora u svijetu: Europski kooperativni program za biljne genetičke izvore (ECPGR, www.ecpgr.cgiar.org); Integrirani sustav europske banke gena (AEGIS, www.ecpgr.cgiar.org/aegis/about-aegis); EURISCO (eurisco.ipk-gatersleben.de), Genesys (www.genesys-pgr.org); FAO Komisi-

ja za genetičke izvore za hranu i poljoprivredu (CGRFA, www.fao.org); Međunarodni ugovor o biljnim genetičkim resursima za hranu i poljoprivredu (ITPGRFA, www.planttreaty.org); Konvencija o biološkoj raznolikosti (www.cbd.int); *Bioversity International* (www.bioversityinternational.org); *Global Crop Diversity Trust* (www.croptrust.org); Baza znanja za banke biljnih gena (cropgenebank.sgrp.cgiar.org); GRIN Biljna taksonomija (www.ars-grin.gov); Kukuruzni projekt Latinske Amerike (*Latin American Maize Project* – LAMP) i mnogi drugi. Poznati projekt genetičkog poboljšanja kukuruza (*Genetic Enhancement of Maize* – GEM), koji su 1993. godine pokrenuli američko Ministarstvo poljoprivrede (USDA-ARS) u suradnji sa sveučilištima te industrijskim i gospodarskim subjektima, usmjeren je na povećanje raznolikosti germplazme u Sjedinjenim Američkim Državama u svrhu poboljšanja proizvodnje, održivosti, ekonomske stabilnosti, prehrane i društva u cjelini. Cilj je dakle bio proširiti genetičku osnovu komercijalnih hibrida u SAD-u kroz introdukciju i inkorporaciju nove upotrebljive germplazme prikupljene diljem svijeta.

Gen-banke

Razvojem ljudskog društva i posljedično sve većom degradacijom pa i uništavanjem ekosustava, odnosno biljne i životinjske raznolikosti, vremenom se razvila potreba za očuvanjem (konzervacijom) živog svijeta. Očuvanje biološke raznolikosti kroz očuvanje biljnih genetičkih izvora postaje sve važnija stavka čak i za komercijalne ustanove koje se bave proizvodnjom sjemena važnih usjeva (ako ni zbog čega drugog onda zbog ograničavanja poslovanja uslijed raznih zakona koji se donose zbog zaštite i očuvanja resursa i okoliša). Zbog sve veće važnosti biljnih genetičkih izvora počeli su se otvarati istraživački centri čija je zadaća očuvanje germplazme (prikupljanje velikog broja uzoraka biljnog materijala, istraživanje, edukacija i razne vrste aktivnosti vezane uz samu konzervaciju). Te su se institucije vremenom pretvorile u tzv. **banke germplazme** (drugi nazivi su banke gena, biljne banke ili banke sjemena; eng. *germplasm bank*, *gene bank*, *seed bank* i slično). Postoji više kategorija ovakvih ustanova, ovisno o materijalu koji se pohranjuje, a namijenjene su čuvanju velikog broja uzoraka i primki biljnog materijala. Uzorak biljnog materijala (eng. *sample*) odnosi se na bilo koji dio biljke prikupljen na nekom mjestu (eng. *site*), odnosno lokaciji (eng. *location*), dok primka

(eng. *accession*) označava administracijsku kategoriju biljne banke. Svaka primka koja se odloži u banku germplazme dobiva svoj identifikacijski broj (eng. *accession number*). Dakle, uzorak i primka slični su pojmovi, s tim da se uzorak više odnosi na ono što je prikupljeno na terenu, a primka na ono što se odlaže u banku germplazme. Genetički resursi kod kukuruza svrstavaju se u dvije osnovne kategorije:

1) genetičke rezerve (eng. *genetic stocks*), primjerice određeni aleli ili geni, 2) primke germplazme (eng. *germplasm accessions*), primjerice uzorci sjemena (**Brown i Goodman** 1977.; **Shands i sur.** 1989.; **Crossa i sur.** 1994.; **Taba i sur.** 2004.). Unutar USDA/ARS sustava baza za čuvanje genetičkih rezervi je *Maize Genetics Cooperation Stock Center* (MGCSC), baza za čuvanje primki germplazme je *North Central Regional Plant Introduction Station* (NCRPIS), a obje su uvedene u bazu *Germplasm Resources Information Network* (GRIN).

Čuvanje germplazme može se provesti na dva načina, *in situ* i *ex situ*. *In situ* (lat. *na mjestu*) označava čuvanje biljaka u prirodnim staništima (prirodni rezervati, farme i drugo); ekvivalent kod zaštite životinja su zaštićeni rezervati (nacionalni parkovi, parkovi prirode i druga zaštićena područja nižih kategorija). *Ex situ* (lat. *izvan mjesta*) podrazumijeva čuvanje biljaka izvan njihovih prirodnih staništa (banke germplazme, botanički vrtovi i drugo); ekvivalent kod zaštite životinja su zoološki vrtovi, specijalizirane farme i drugo. Banke germplazme dakle služe za očuvanje biljnih genetičkih izvora. Mnogobrojni uzorci biljnog materijala pohranjeni su u većim ili manjim kolekcijama u bankama germplazme diljem svijeta. Točan broj banaka germplazme danas u svijetu vrlo je teško procijeniti*, pogotovo uzevši u obzir činjenicu da se ove vrste aktivnosti – konzervacija, očuvanje biljnih genetičkih izvora i bioraznolikosti – sve više i sve masovnije uključuju u mnoge znanstvene i gospodarske projekte. Prema procjeni **FAO** (2010.) prije petnaestak godina oko 7,4 milijuna primki, od čega su 70 - 75 % duplikati, bilo je raspodijeljeno na oko 1750 banaka gena, od čega je oko 130 bilo onih u kojima se čuvalo više od 10 000 primki. Većina banaka za biljne genetičke izvore nalazi se u Europi, Americi i Aziji.

* Navedene brojke o veličini gen-banaka, broju ukupnih pohranjenih primki te veličini kolekcija kukuruza razlikuju se ovisno o godini izdavanja.

Royal Botanic Gardens, Kew (RBG Kew) iz Engleske pokrenuo je 1995. godine projekt *Millennium Seed Bank Partnership* – MSBP, kojim je pohranjeno gotovo 37 000 vrsta biljaka (**Liu i sur.** 2018.). Neki su od glavnih ciljeva ovoga globalnog projekta konzervacija ugroženih i ostalih biljaka, širenje mreže zemalja partnera u svrhu povećanja kvalitete i genetičke raznolikosti pohranjenih kolekcija kako bi se u razdoblju trajanja projekta od 2015. do 2020. godine prikupilo 25 % svjetskih biljnih vrsta (oko 75 000 vrsta). Ovaj je projekt praktički najveći *ex situ* program na svijetu (**Smith i sur.** 1998.), u koji je uključeno gotovo 100 zemalja i teritorija.

Norveška *Svalbard Global Seed Vault* – SGSV jedna je od najvećih banaka biljnog materijala na svijetu (**Charles** 2006). Izgrađena je na otočju Svalbard, otprilike na pola puta od Norveške do Sjevernog pola. Otvorena je 2008. godine, a pohranjuje gotovo milijun primki (**NordGen** 2019.). Mnoge druge banke gena i ostale institucije svake godine pohranjuju veliki broj primki u SGSV – prema stanju iz 2013. godine 53 banke gena pohranile su u ovu banku preko 770 000 uzoraka, od čega gotovo 33 000 uzoraka iz roda *Zea* (**Westengen i sur.** 2013.). Prema istim autorima četiri najveće svjetske nacionalne kolekcije nalaze se u SAD-u (*NPGS*), Rusiji (*Vavilov Institute of Plant Industry*), Indiji (*NBPGR*) i Kini (*ICGR-CAAS*).

Nacionalni sustav biljne germplazme (*National Plant Germplasm System*, *NPGS*) mreža je državnih i privatnih institucija i agencija koju vodi USDA-ARS kako bi se očuvala biološka raznolikost biljaka važnih u poljoprivredi. Od druge polovine 19. stoljeća *NPGS* sustav razvijao se kroz postupni razvoj svojih pojedinačnih dijelova, a u sadašnjem ustrojstvu djeluje od 1974. godine. Od ukupnog broja primki *NPGS* banka pohranjuje više od 20 700 primki kukuruza (**Kurtz i sur.** 2016.).

Ruski Institut za biljnu industriju u Sankt Petersburgu (eng. *Vavilov Institute of Plant Industry*, rus. *Всероссийский институт растениеводства им. Н. И. Вавилова*) od svoga osnivanja 1921. godine – prvi predsjednik bio je sam Vavilov – bavi se istraživanjima iz područja biljne genetike, a u sklopu svojih aktivnosti sadrži i jednu od najvećih svjetskih banaka sjemena. Ova velika banka sjemena još je prije petnaestak godina čuvala velike kolekcije važnih kultura poput pšenice (36 000 primki), kukuruza (18 000 primki) i krumpira (8 500 primki) (**Robinson i Anishetty** 2004.).

Nacionalni ured za biljne genetičke izvore (*National Bureau of Plant Genetic Resources* – NBPGR) u nadležnosti je Indijskog vijeća za poljoprivredna istraživanja (*Indian Council for Agricultural Research* – ICAR), a djeluje od 1976. godine, prikupljajući veliki broj uzoraka biljnog materijala kako bi kroz oplemenjivanje i istraživanje dao što veći doprinos u nacionalnoj poljoprivredi. Banka germplazme sadrži više od 450 000 pohranjenih uzoraka, od čega više od 11 500 primki kukuruza, više od 34 600 primki pšenice te više od 114 700 primki riže (http://www.nbpgr.ernet.in/Research_Projects).

Kineski Institut za biljne genetičke resurse (*Institute of Crop Germplasm Resources* – ICGR-CAAS) institut je koji djeluje od 1978. godine kao državni istraživački centar čiji je cilj prikupljanje i upotreba biljnih genetičkih izvora važnih kultura. U okviru svojih aktivnosti sadrži i jednu od najvećih banaka germplazme na svijetu te jednu od najvećih kolekcija kukuruza na svijetu s više od 19 000 primki (FAO 2010.).

Međunarodni centar za oplemenjivanje kukuruza i pšenice CIMMYT osnovan je prije više od 50 godina kod Mexico Cityja, dio je sustava CGIAR, a bavi se istraživanjem kukuruza i pšenice, kao i mnogim aspektima njihove proizvodnje, u svrhu osiguravanja kvalitete hrane, smanjivanja siromaštva i gladi u svijetu, očuvanja okoliša i biljnih genetičkih izvora. U 2019. godini CIMMYT je pohranio najviše primki u SGSV od svih ustanova u svijetu (173 779 primki iz 131 države svijeta) (CIMMYT 2020.), a kolekcija kukuruza jedna je od najvećih na svijetu i sadrži više od 28 000 pohranjenih primki (<https://www.genebanks.org/genebanks/cimmyt/>). Na godišnjoj razini ova institucija šalje više 1500 pošiljaka sjemena kukuruza i pšenice – što je oko 500 000 paketa – na gotovo 800 adresa svojih partnera u preko 100 država svijeta.

Sachs (2009.) navodi nekoliko glavnih institucija (sustava) koje se bave genetičkim resursima kod kukuruza: *Maize Genetics Cooperation Stock Center* (MGCSC) u Urbani, Illinois, koji je specijaliziran za genetičke rezerve (*stocks*); NCRPIS (*North Central Regional Plant Introduction Station*) u Amesu, Iowa; gore spomenuti CIMMYT u Mexico Cityju. Sveukupne zalihe germplazme u tri navedene kolekcije radi sigurnosti su pohranjene u četvrtu instituciju, NCGRP (*National Center for Genetic Resources Preservation*) u Fort Collinsu, Colorado.



Slika 136. Dio kolekcije kukuruza, banka gena IPK Gatersleben (Tomas David Lomas Cano). Kukuruzne kolekcije u ovoj banci gena uključuju mnoge stare sorte i populacije.

IPK Genebank Gatersleben nalazi se u Njemačkoj. Osnovana je 2003. godine u sklopu Instituta u Gatersleбену (*Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research – IPK*), a s više od 151 000 pohranjenih primki i preko 2900 vrsta biljaka najveća je banka gena u Europskoj Uniji i jedna od 10 najvećih na svijetu (IPK 2014.; Oppermann i sur. 2015.). Službeni naziv ove banke gena je *German Federal ex situ Genebank of Agricultural and Horticultural Crop Species* koju održava IPK, a pohranjuje više od 28 000 primki pšenice, više od 23 000 primki ječma te više od 1500 primki kukuruza. (https://www.ecpgr.cgiar.org/fileadmin/templates/ecpgr.org/upload/Presentations/Maize_WG_2019/Maize_IPK_Optimized.pdf).



Slika 137. Dio kolekcije kukuruza, banka gena IPK Gatersleben (Derya Taşçılar). Na slici se vide neke varijante kukuruza pljevičara, koji je nekada bio aktualni kandidat za mjesto divljeg pretka kukuruza, a danas predstavlja tek kuriozitet koji se izlaže u sklopu kolekcija i drugih edukativnih i zabavnih događanja. Za razliku od svih ostalih tipova kukuruza koji imaju golo zrno, kod pljevičara je svako zrno na klistu obavijeno pljevicama, što se u početku mnogima činilo kao pravi primjer kako bi primitivni kukuruz trebao izgledati.

Banka gena *Australian Grains Genebank* – AGG nalazi se u jugoistočnoj Australiji (savezna država Victoria), koja je otvorena 2014. godine, može pohraniti do 200 000 primki (**Braidotti** 2016.). Još neke od većih banaka germplazme su Nacionalna banka gena u Japanu te nacionalne banke gena u Brazilu, Kanadi i Južnoj Koreji. **Börner i sur.** (2014.) prema **FAO** (2010.) objavljuju listu najvećih biljnih banaka u svijetu (Tablica 34) te navode kako kukuruz zauzima četvrto mjesto po broju primki koje su deponirane u biljne banke diljem svijeta (gotovo 328 000 primki, u usporedbi s više od 856 000 primki pšenice koja je na prvom mjestu, gotovo 774 000 primki riže koja je na drugom mjestu te više od 466 000 primki ječma koji je na trećem mjestu). U svijetu trenutno djeluje i niz drugih većih, srednjih i manjih banaka germplazme, a uzevši u obzir da se važnost očuvanja germplazme povećava i da se u budućnosti može očekivati rastući trend konzervacijskih aktivnosti, osnivanje novih banaka kako bi se nastavio proces očuvanja biljnih genetičkih izvora samo je pitanje vremena.

Tablica 34. Najveće banke germplazme u svijetu

Institucija	Država	Broj primki
NPGS (<i>National Plant Germplasm System</i>)	SAD	508 994
ICGR-CAAS (<i>Institute of Crop Germplasm Resources, Chinese Academy of Agricultural Science</i>)	Kina	391 919
NBPGR (<i>National Bureau of Plant Genetic Resources</i>)	Indija	366 333
VIR (<i>N. I. Vavilov Research Institute of Plant Industry</i>)	Rusija	322 238
NIAS (<i>National Institute of Agrobiological Science</i>)	Japan	243 463
CIMMYT (<i>Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo</i>)	Meksiko	173 571
IPK (<i>Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung</i>)	Njemačka	148 128
ICARDA (<i>International Center for Agricultural Research in the Dry Areas</i>)	Sirija	132 793
ICRISAT (<i>International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics</i>)	Indija	118 882
IRRI (<i>International Rice Research Institute</i>)	Filipini	109 161

Prema podacima **FAO** (2010.) najveća banka gena u kojoj je pohranjen kukuruz nalazi se u CIMMYT-u (26 596 primki), a sličan broj primki (24 529) nalazi se u portugalskoj *Portuguese Bank of Plant Germplasm* (BPGV-DRAEDM). Na trećem mjestu je američka USDA-ARS NCRPIS s 19 988 primki, četvrto mjesto drži kineski ICGR-CAAS s 19 088 primki, a peto mjesto meksički *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias* (INIFAP) s 14 067 primki. Donji dio ljestvice predvodi poznati ruski institut VIR sa 10 443 primke, zatim slijede indijski NBPGR sa 6909 primki, japanski NIAS s 5935 primki, srpski Institut za kukuruz „Zemun Polje“ (*Maize Research Institute Zemun Polje – MRIZP*) s 5475 primki, a listu deset najvećih zatvara kolumbijska *Corporacion Colombiana de Investigación Agropecuaria* (CORPOICA) s 5234 primke. Prema mrežnoj bazi podataka *Genesys*, koja sadrži podatke za preko 100 000 primki kukuruza, najveće kolekcije kukuruza nalaze se u USDA-ARS bankama gena, CIMMYT-u i MGCSC-u u Illinoisu (**Genesys** 2021.). **Singh i sur.** (2019.) upozoravaju na potrebu boljeg katalogiziranja pri pohranjivanju uzoraka u bankama gena. Prema njihovom istraživanju u bankama gena značajan dio uzoraka je dupliciran. Određenim strategijama suradnje i koordinacije metoda i pristupa moglo bi se smanjiti dupliciranje uzoraka, što bi bilo korisno ne samo vremenski nego i po pitanju troškova koji pri provođenju ovakvih aktivnosti nikada nisu zanemarivi.



Slika 138. Razne populacije podrijetlom iz Hrvatske, Meksika i SAD-a.

Očuvanje germplazme usko je povezano s jednim od najaktualnijih pojmova današnjice, a to je **održiva poljoprivreda** (eng. *sustainable agriculture*). Trendovi poput porasta populacije i smanjivanja površina za proizvodnju hrane pokrenuli su mnoge promjene čije su posljedice bile prekomjerno trošenje resursa i zagađivanje ekosustava (**Tilman** 1999.). Nakon Drugog svjetskog rata težnja mnogih ljudi u znanosti i gospodarstvu bila je razriješiti problem gladi u svijetu, što je djelomično uspjelo, ali uglavnom u razvijenijim zemljama. Mnogi krajevi svijeta i dalje su vrlo siromašni te iako danas u odnosu na cijelu populaciju nikada manje ljudi nije bilo gladno, taj broj još uvijek je zabrinjavajuće velik. Kao jedno od rješenja nametnula se održiva poljoprivreda, iako je to do danas u praksi ostao samo pojam. I dalje se u intenzivnoj proizvodnji puno gnoji i tretira usjeve i tlo sredstvima protiv korova, štetnika i bolesti. Ranije spomenuti jaz od intenzivne proizvodnje do održivosti bit će tako i dalje jedan od najvećih izazova s kojima se čovječanstvo do sada suočilo, a velika je vjerojatnost da će u tome procesu kukuruz imati važnu ulogu. Neka od novijih rješenja su razni sustavi tzv. pametnog ratarenja ili pametne poljoprivrede (**Walter i sur.** 2017.) kroz koje se korištenjem tehnologije (senzori, dronovi, prikupljanje velike količine podataka, umrežavanje, dijeljenje informacija) proizvodnja usjeva pokušava optimizirati (smanjeno iskorištavanje resursa uz smanjeni pritisak na okolinu).

Očuvanje germplazme može se pozitivno odraziti na mnoge druge procese u sklopu očuvanja svjetskih ekosustava (zaštita tala od erozije, stvaranje kisika i redukcija CO₂ u atmosferi, alternativni izvori prehrane i drugo). Koliko god se to u današnjoj utrci za produktivnošću činilo manje važno, očuvanje ekosustava dobiva sve veći značaj. Danas postoje mnogi programi i projekti usmjereni drugačijem iskorištavanju potencijala germplazme, ponajprije najvećih svjetskih usjeva, poput korištenja kukuruza za dobivanje etanola ili biogoriva, no obzirom na skupu novu tehnologiju i veliku razinu početnog ulaganja, eko-projekti često su se pokazali nedovoljno učinkovitima.

U sklopu istraživanja strategija za upravljanje biljnim genetičkim resursima **Simmonds** (1993.) navodi osam ključnih točaka:

- svi usjevi bi vremenom trebali biti uključeni u programe introgresije i inkorporacije nove germplazme
- sustavna se procjena kolekcija germplazme puno promovirala, ali malo provodila

- tehnike za inkorporaciju germplazme moraju djelomično ovisiti o biologiji usjeva
- pojmovi genetičko poboljšanje (eng. *genetic enhancement*) i predoplemenjivanje često su se javljali u literaturi, ali se nisu sustavno koristili
- pojam genetička osjetljivost (eng. *genetic vulnerability*) često se pogrešno dovodi u vezu s potrebom očuvanja biljnih resursa (genetička uniformnost *per se* nije uzrok genetičke osjetljivosti)
- pogrešni stereotipovi o kolekciji biljnih usjeva kao suhoparnim skladištima
- političko-birokratski problemi
- potencijalno prevođenje divljih biljaka u kultivirane.

Ustanove za očuvanje biljnih genetičkih izvora u Hrvatskoj i regiji

Unutar zakonodavnog okvira u pogledu biljnih genetičkih resursa u Hrvatskoj je doneseno nekoliko zakona: *Zakon o potvrđivanju Međunarodnog ugovora o biljnim genetičkim resursima za hranu i poljoprivredu* (Narodne novine NN 1/2009) iz 2009. godine te *Zakon o potvrđivanju Protokola iz Nagoye o pristupu genetičkim resursima te poštenoj i pravičnoj podjeli dobiti koja proizlazi iz njihova korištenja uz konvenciju o biološkoj raznolikosti* (Narodne novine NN 5/2015) iz 2015. godine.

Na razini Republike Hrvatske postoji Nacionalna banka biljnih gena koja sadrži 4233 primke čuvane u nekoliko aktivnih kolekcija: HAPIH (*Hrvatska agencija za poljoprivredu i hranu*), PIO i FAZOS u Osijeku; Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu; Visoko gospodarsko učilište u Križevcima; Institut za jadranske kulture i melioraciju krša u Splitu; Institut za poljoprivredu i turizam u Poreču. Svi podaci pohranjeni su u Hrvatskoj bazi podataka biljnih genetičkih izvora (CPGRD Hrvatska, <https://cpgrd.hapih.hr>), a obrađeni su prema smjernicama Europskog programa za biljne genetičke izvore (*European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources – ECPGR*). Na listi primki nalaze se mnoge stare hrvatske sorte i populacije kao što su Beljski zlatni zuban, Korićev brzak, Vukovarski žuti zuban, Maksimirski rani, Osmak bijeli, Osmak žuti, staklenac, debelka, skorić, Osmak tvrduvac, Osmoredac bijeli, Osmoredac žuti, Hrvatica i druge. Na stranici CPGRD nalazi se i lista poveznica s drugim gore spomenutim institucijama: ECPGR,

AEGIS, EURISCO, Genesys, CGRFA, ITPGRFA, SGSV, GRIN i druge ustanove koje se bave konzervacijom germplazme.

Banka gena u sklopu Instituta za kukuruz „Zemun Polje“ sa sjedištem u Zemunu u Srbiji jedna je od 10 najvećih banaka gena za kukuruz u svijetu (**Andelković i Ignjatović-Micić** 2012.; **Gouesnard i sur.** 2017.). Skupljanje i deponiranje uzoraka započeto je šezdesetih godina 20. stoljeća, a banka pohranjuje gotovo 6000 primki u kolekciji kukuruza iz 40 europskih država. Ostale nacionalne institucije u regiji poput mađarskog Instituta Martonvasar ili srpskog Instituta Novi Sad također sudjeluju u aktivnostima za očuvanje biljnih genetičkih izvora kukuruza.

Potreba za očuvanjem biljnih genetičkih izvora i biološke raznolikosti germplazme postaje sve važniji čimbenik u planiranju budućih dostignuća naše civilizacije. Vjerojatno najveći izazov s kojim se čovječanstvo do sada suočilo bit će kako pomiriti veliki broj stanovnika, stalno rastuću potrebu za povećanjem materijalne dobiti s umjerenim trošenjem resursa. Održivi razvoj možda trenutno zvuči kao oksimoron, ali je i dalje jedan od glavnih ciljeva modernog ljudskog društva. Trenutno je situacija takva da ono što u nekim bogatijim krajevima jede stoka u nekim siromašnijim krajevima jedu ljudi. Koliko god to bilo tako zbog tradicije, još uvijek je tomu često uzrok glad i neimaština. Neki krajevi su toliko bogati da si mogu priuštiti ogromne površine za uzgoj kukuruza za stoku, a neki toliko siromašni da na površinama koje imaju jedva mogu proizvesti dovoljno kukuruza za prehranu ljudi. Isto tako, u razvijenom svijetu svakodnevno se bacaju ogromne količine hrane.

Najveći svjetski proizvođači, ali istovremeno i zagađivači, upravo su najrazvijenije regije, stoga u priči o održivom razvoju na globalnoj razini termini poput *pravilne distribucije resursa* i *zaštite okoliša* sve više dobivaju na važnosti (**Attenborough** 2020.). Kako god bilo, poprilično je velika vjerojatnost da će kukuruz u velikim promjenama koje će prije ili kasnije doći igrati značajnu ulogu, ponajprije zbog svoje velike raznolikosti, širokog spektra namjena, adaptabilnosti i prirodne tolerantnosti na nepovoljne uvjete, praktički neograničene dostupnosti sjemena, relativno velikog prinosa po jedinici površine i relativno jednostavne proizvodnje.





Dodatak: Pojmovnik

U ovome pregledu navedeni su neki važni pojmovi vezani uz germplazmu, genetiku i oplemenjivanje kukuruza. Isto tako, kada se govori o germplazmi, tipovima i korištenju kukuruza potrebno je istaknuti i ukratko opisati neke osnovne pojmove od kojih se mnogi često spominju u različitom kontekstu i stoga različito tumače. Stručnjacima su ovakve razlike možda trivijalne, ali unutar širokog okvira proizvodnih, odnosno gospodarskih aktivnosti često dolazi do zabuna, pogrešaka i krivih interpretacija određenih pojmova. To je dobrim dijelom tako jer se puno toga radi po navici ili tradiciji, a dostupne novije literature na hrvatskom jeziku nema previše. Upravo zbog toga što se ovakve specifične informacije vezane za kukuruz nisu frekventno, sustavno i na jednom mjestu zapisivale, ovakav terminološki dodatak – uz uvodni dio u vidu opisanih temeljnih genetičkih pojmova na početku i pred kraj dijela *Istraživanja u genetici i oplemenjivanju kukuruza* – predstavlja koristan putokaz ili podsjetnik, a za neke čak i dobru polaznu točku.

Germplazma (eng. *germplasm*) je sveukupnost genetičkih resursa (ili suma genetičkog materijala) neke biljne vrste. Germplazma kukuruza nastajala je tisućama godina, od prvih poljoprivrednih revolucija u Srednjoj Americi prije 7000 do 10 000 godina pa sve do danas, kada zapravo taj proces još uvijek traje. Za to vrijeme kukuruz se transformirao i morfološki i po značenju te je od male lokalne biljke s malim klasićima postao jedan od najvažnijih svjetskih usjeva, robusna, velika biljka visokog potencijala rodosti i visoke adaptabilnosti. Ono što smatramo germplazmom je sjeme koje se prenosi u sljedeću generaciju, ali isto tako, to sjeme svake se godine sije i koristi u najrazličitije svrhe, dakle svako sjeme neizravno je namijenjeno za korištenje unutar cijeloga spektra namjena.

Genotip (eng. *genotype*) je genetička konstitucija nekog organizma, a **fenotip** (eng. *phenotype*) je ukupnost svojstava nekog organizma koja se formiraju pod utjecajem gena, okoline i njihove interakcije. Koliko je pojedino svojstvo pod utjecajem gena, a koliko pod utjecajem okoline predmet je nebrojenih rasprava u okviru mnoštva istraživanja koja se tiču živoga svijeta. Osnovne genetičke molekule su dvostruke uzvojnice deoksiribonukleinske kiseline (DNK) koje omotane oko proteina histona čine kromatinsko vlakno *spa-*

kirano unutar kromosoma u jezgri stanice. **Geni** koje smatramo jedinicama nasljeđivanja zapravo su odsječci DNK unutar DNK lanca.

Unutar terminologije vezane uz gene, često se koriste pojmovi *genski*, *genetički* i *genetski*. Pojam *genski* odnosi se na gene (npr. genski kod, genska karta), dok oko pojmova *genetički* i *genetski* još uvijek ne postoji konsenzus, kako unutar akademske zajednice koja se bavi genima i genetikom, tako niti unutar akademske zajednice koja se bavi jezikom. Zbog konzistentnosti teksta osobno sam se opredijelio za pojam *genetički*, iako se neki pojmovi najzajnjenično koriste, ovisno o autoru (npr. dugo vremena u hrvatskom jeziku koristio se pojam *genetski modificirani organizmi* (GMO), a noviji termin je *genetički preinačeni organizmi*; isto tako, dio autora koristio je pojam *molekularni markeri*, dio *molekularni biljezi*, dio *genetski biljezi*, a dio *genetički biljezi* i slično).

U *Hrvatskom pravopisu* navedena su oba pojma, **genetički** prema genetika i **genetski** prema geneza (**Babić i sur.** 1994.). U *Rječniku hrvatskoga jezika* navedeni su pojmovi **genetički**: *prid. koji pripada, koji se odnosi na genetiku* te **genetski**: *prid. koji je uvjetovan genima, koji se nasljeđuje u genima* (**Anić** 1996.). U *Rječniku stranih riječi* naveden je samo pojam **genetičan**: (*grč. genetikos*) *fil. koji se odnosi na postanak (genezu), koji se tiče povijesti postanka i razvitka biljaka i životinja; koji se tiče nasljeđa i znanosti o nasljeđu* (**Anić i sur.** 2002.). U *Rječniku stranih riječi* (**Anić i Goldstein** 2007.) za pojam **genetički** stoji: *prid. 1. koji se odnosi na genetiku, 2. koji se odnosi na genezu* te su navedeni primjeri *genetički modificirani organizmi* i *genetičko inženjerstvo*, dok za pojam **genetski** stoji: *prid. koji je uvjetovan genima, koji se nasljeđuje genima s primjerom genetski inženjering*. Slično svemu navedenome *Rječnik hrvatskoga jezika* (**Anić** 2007.) navodi oba termina, **genetički** samo kao pridjev pod pojmom *genetika* te **genetski**: *prid. koji je uvjetovan genima, koji se nasljeđuje genima*.

Prema *Institutu za hrvatski jezik i jezikoslovlje* pojam *genetski* odnosi se na genezu ili stvaranje, a pojam *genetički* na genetiku (**Blagus Bartolec i sur.** 2016.). Isto tako, *Glasilu biljne zaštite* (Vol. 18, No. 6) objavilo je jezične savjete koje je preporučio Institut za hrvatski jezik i jezikoslovlje uz jednako objašnjenje (*genetski* prema *geneza*, a *genetički* prema *genetika*) (**Mesić** 2018.).

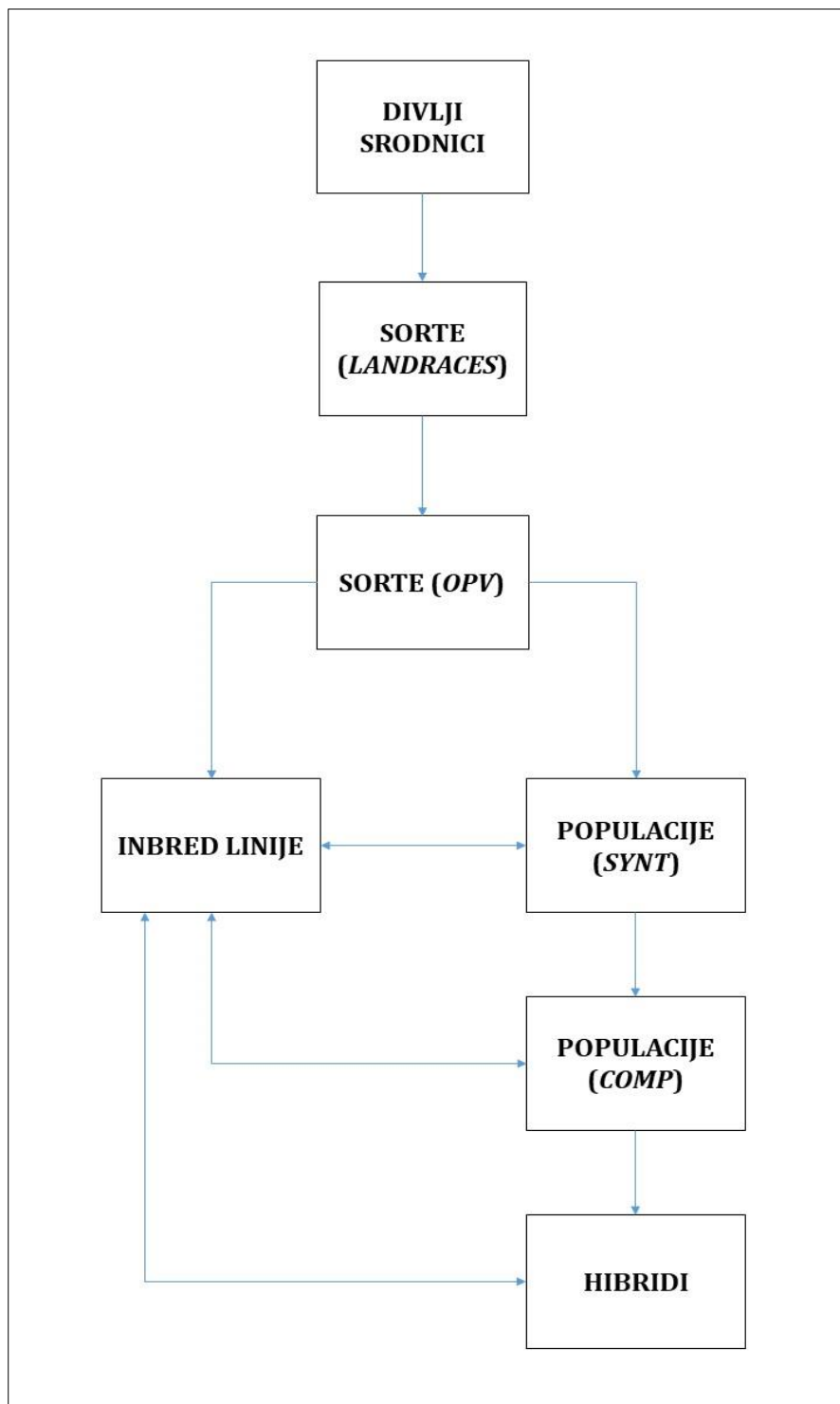
Genom je ukupnost genetičkog materijala nekog organizma. Pridjev *genomski* odnosi se na svojstva genoma, odnosno na sve što je neposredno vezano uz genom (npr. genomska regija, genomska struktura i drugo), dok se pridjev *genomički* odnosi na genomiku (npr. genomička istraživanja, genomičke tehnologije i drugo). Ista analogija primjenjuje se za pojmove gen > genski i genetika > genetički.

Domestikacija (eng. *domestication*) je proces kojim se divlje biljke i životinje pripitomljavaju. Ovisno o biljnoj ili životinjskoj vrsti započela je prije više tisuća godina, a neki značajniji primjeri su nastanak modernog kukuruza od teozinte kod biljaka i nastanak psa od vuka kod životinja. Proces domestikacije biljaka počinje u njihovim gen-centrima, odakle se vrste mogu širiti dalje. Ljudi su u nekom trenutku počeli odabirati divlje biljke zbog svojstava koja su im odgovarala te ih aktivno koristiti kroz uzgajanje i odabiranje najboljih. Na taj način započeti su procesi umjetne selekcije kojima su se istim mehanizmom kao i kod prirodne selekcije stvarale kultivirane vrste.

Prirodni odabir ili selekcija (eng. *natural selection*) pokretačka je sila evolucije na kojoj se zasniva podrijetlo svih živih bića. Osim s prirodnom i umjetnom selekcijom proces domestikacije može se povezati i s poljoprivredom jer je pripitomljavanje vrsta u većoj mjeri uvjetovalo prelazak s nomadskog i lovačko-sakupljačkog načina života u kojemu se hrana skupljala iz prirode na sjedilački način života u kojemu se hrana proizvodila i skladištila.

Divlji srodnici (eng. *wild relatives*) kulturnog bilja predstavljaju sami početak procesa domestikacije. Oni obuhvaćaju sve vrste bilja koje su genetički srodne kultiviranim vrstama te žive na području njihovog podrijetla (prema divljim srodnicima i njihovoj prirodnoj rasprostranjenosti formirali su se gen-centri podrijetla kulturnog bilja). Divlji srodnici imaju široku genetičku osnovu i visok stupanj varijabilnosti u usporedbi sa svim ostalim više ili manje kultiviranim tipovima bilja.

Kultivar (eng. *variety* ili *cultivar*) je opći naziv za sve tipove kultiviranog bilja. Tako su kod kukuruza i suncokreta kultivari hibridi, kod pšenice i ječma sorte, kod lucerne i djeteline sintetici ili sintetički kultivari, a kod vinove loze i krumpira klonovi ili klonski kultivari.



Slika 141. Odnosi između raznih skupina germplazme kukuruza.

Sorta je nakon divljih srodnika svojevrsni sljedeći korak u domestikaciji kukuruza. Sorta je populacija biljaka koja se nalazi u slobodnoj oplodnji i čiji se klipovi nakon berbe odabiru ili odbacuju ovisno o prinosu, kvaliteti zrna, podložnosti bolestima, štetnicima i drugim ograničavajućim čimbenicima. U engleskom jeziku razlikuju se dva pojma za sortu, *landrace* i *open-pollinated variety* (OPV). Ta dva pojma imaju slično značenje. Za *landrace* se može reći da su to oni najstariji tipovi kultivara koje su farmeri stvorili iz divljih srodnika u određenom području i koji se uzgajaju u slobodnoj oplodnji, dok je OPV općenitiji naziv za kultivare koji se uzgajaju u slobodnoj oplodnji. Dakle svaka sorta tipa *landrace* je OPV, ali svaki OPV nije *landrace*, iako je to po značenju vrlo slično. Kada se govori o različitim tipovima prijašnjih kultivara (sorata) jedan poseban tip naziva se *heirloom variety* – to su stari, tradicionalni kultivari (sorte) stvoreni selekcijom koje su svojevremeno zauzimale važno mjesto na tržištu, ali su vremenom zamijenjene novima, prvenstveno hibridima te ih se želi očuvati ponajviše zbog tradicionalne važnosti. Iako se više ne koriste u velikom opsegu u modernoj poljoprivredi, neki uzgajivači ih i dalje održavaju. Unatoč manjem ekonomskom značaju, predstavljaju određeno znanstveno, gospodarsko i tradicionalno nasljeđe pa se pohranjuju u bankama gena i drugim institucijama u svrhu očuvanja germplazme i biljnih genetičkih izvora. Neke od ovakvih sorata kukuruza su *Bloody Butcher*, *Hopi Blue*, *Hopi Pink*, *Cherokee White*, *Navajo Robin's Egg*, *Garland*, *Seneca Blue Bear Dance*, *Black Aztec*, *Blue Jade*, *Oaxacan Green*, *Seneca Red Stalker*, *Mandan Bride*, *Rainbow Inca*, *Country Gentleman*, *Glass Gem*, *Golden Bantam*, *Strawberry Popcorn* i druge. Osim redovnih proizvođača koji ovakve sorte prodaju za razne namjene, postoje i druge institucije poput neprofitne udruge *Seed Savers Exchange* čija je misija zaštita tradicionalnih kultivara, među kojima su i sorte kukuruza.

Populacija (eng. *population*) je vrlo širok pojam, a u oplemenjivanju kukuruza može imati nekoliko značenja. Općenito se populacija odnosi na skupinu bilo kojeg tipa materijala u ranim fazama *inbreedinga* u selekcijskom procesu. Pa tako možemo imati F_1 ili F_2 populaciju, S_0 ili S_1 populaciju (ili bilo koju drugu generaciju iz koje se selekcijom razvija oplemenjivački materijal), pri čemu nije bitno s koliko je biljaka zastupljena u polju. Neki autori i oplemenjivači početne populacije označavaju kao $S_0 = F_1$, a neki kao $S_0 = F_2$ (za detaljnije objašnjenje vidi **Fehr** 1987.). Općenito, početne populacije zastupljene su s više biljaka (kako bi pri selekciji postojala određena mogućnost

izbora biljaka poželjnog fenotipa), a kako se populacija uzastopnim samooplodnjama prevodi u inbred liniju broj biljaka se smanjuje. Gotova inbred linija koja prođe 5 - 6 samooplodnja na kraju se po potrebi umnožava. Specifično značenje populacije (F_1 SC populacija, F_1 DC populacija i druge) odnosi se na određene tipove sintetičkih populacija (s nekoliko ili više roditelja – sintetik) koje služe kao početni materijal, odnosno kao novi izvori za dobivanje inbred linija u selekciji. Oplemenjivačke populacije dobivaju se različitim modelima križanja dviju ili više različitih inbred linija:

1) Križanje dvije inbred linije (dobije se jednostruki hibrid; svaka linija teoretski je zastupljena s 50 %) = SC POP.

2) Križanje dvije inbred linije i povratno križanje na jednu od njih (eng. *backcross*) = BC POP.

3) Križanje dvije inbred linije i zatim križanje s trećom linijom (dobije se trolinijski hibrid) = TWC POP.

4) Križanje dva jednostruka hibrida ($SC \times SC$, dobije se dvostruki hibrid) = DC POP.

5) Križanje nekoliko ili više linija, smjesa (eng. *bulk*) F_1 sjemena pa završno križanje (eng. *top cross*) neke linije s tom populacijom (može se uzeti i bilo koji hibrid i napraviti završno križanje s njim) = TC POP. **Poehlman i Sleper** (1995.) definiraju *top cross* kao polinaciju inbred linije ili jednostrukog hibrida peludom genetički miješane populacije.

6) Križanje jedne linije s više drugih linija, smjesa F_1 sjemena, nakon čega se vrši naizmjenično križanje (dobije se sintetik ili sintetička populacija, eng. *synthetic population*) = SYNT POP.

Ovisno o broju inbred linija koje su uključene u njihovo dobivanje, populacije mogu biti jednostavne i složene. Složene populacije (eng. *complex populations*) odnose se na populacije sa četiri ili više uključenih linija, u što se uklapaju DC POP, TC POP i sintetici. Nakon početnih i dodatnih križanja i formiranja sintetičke populacije ona se može jednu ili dvije godine održavati kroz naizmjenična križanja (eng. *chain crossing*) pri čemu svaka biljka jednom može biti otac i jednom majka, nakon čega se nastavlja sa samooplodnjama kako bi se selekcijom dobile homozigotne linije.

Inbred linija (eng. *inbred line*) jedan je od najvažnijih tipova germplazme u modernom oplemenjivanju kukuruza, jer se križanjem dviju inbred linija iz različitih heterotičnih skupina dobiva hibrid koji u konačnici ima najvišu komercijalnu vrijednost (plasman na tržište). Postoje dvije glavne vrste dobivanja inbred linija, višestrukim uzastopnim samooplođnjama dobivaju se tzv. rekombinantne inbred linije (eng. *recombinant inbred lines* – RIL), a višestrukim uzastopnim povratnim križanjima dobivaju se tzv. genetički gotovo jednake linije (eng. *near isogenic lines* – NIL). Osnovni je cilj pri stvaranju inbred linija fiksiranje poželjnih alela u populaciji, pri čemu se prati kako linija reagira na okolinu (vrijednost linija *per se* ili eng. *inbred performance*) i na druge linije (testiranje kombinacijskih sposobnosti ili eng. *hybrid performance*). Postoje opće i posebne kombinacijske sposobnosti linija. Opće kombinacijske sposobnosti (OKS ili eng. *general combining abilities* – GCA) pokazuju koliko dobro jedna linija kombinira s više drugih linija, dok posebne kombinacijske sposobnosti (PKS ili eng. *specific combining abilities* – SCA) pokazuju koliko dobro jedna linija kombinira s jednom određenom linijom. Pri selekciji linija oplemenjivač prati liniju *per se* u selekcijskom polju te križanu s nekom drugom (test-križanac ili eng. *testcross*) u pokusima kako bi se vidio hibridni učinak.

Hibrid (eng. *hybrid*) je konačni rezultat oplemenjivačkog procesa. To je kultivar koji postoji tek stotinjak godina, ali koji predstavlja trenutačno najveći doseg domestikacije kukuruza koja je započela od divljih srodnika prije više tisuća godina pa preko sorata stigla do hibrida. Hibridno ili F_1 sjeme (slovo F označava *filijalnu* generaciju, od latinskog *filius*, što znači *sin*, *potomak*), dobiva se križanjem dviju genetički relativno udaljenih inbred linija, a to su roditeljske komponente hibrida – majčinska komponenta ili linija majka (eng. *mother line*) i očinska komponenta ili linija otac (eng. *father line*). Postoji nekoliko glavnih tipova hibrida. Jednostruki hibrid (eng. *single cross*) nastaje križanjem dviju inbred linija ($A \times B$), Trolinijski hibrid (eng. *three-way cross*) nastaje križanjem triju inbred linija ($A \times B$) \times C, a dvostruki hibrid (eng. *double cross*) nastaje križanjem četiriju inbred linija ($A \times B$) \times (C \times D). Sestrinski hibridi (eng. *sister cross*) su hibridi koji imaju jednog ili dva roditelja jednaka (npr. hibridi $A \times B$ i $A \times C$). U današnjem su oplemenjivanju kukuruza većina komercijalnih hibrida jednostruki hibridi, ali to također ovisi o oplemenjivačkoj instituciji i arealu uzgoja.

Variranje (eng. *variation*) se odnosi na genotipske i fenotipske razlike između jedinki neke vrste ili skupine. Jedna od osnovnih mjera koju koristimo kako bismo razlikovali bića i pojave u svijetu oko sebe je količina i kakvoća variranja, odnosno koliko se predmet proučavanja razlikuje od nečega drugoga (kvalitativne razlike, odstupanje od srednje vrijednosti populacije). **Fenotipska varijanca** (eng. *phenotypic variance*) odnosi se na skup svih genetičkih i okolinskih čimbenika koji utječu na variranje neke jedinke. Komponente fenotipske varijance su genetička varijanca (eng. *genetic variance*), okolinska varijanca (eng. *environmental variance*) te interakcija genotipa i okoline (eng. *G × E interaction*). Kada se govori o variranju sličan pojam koji se često upotrebljava je **varijabilnost** (eng. *variability*) koji se odnosi na ukupnu sposobnost variranja nekog svojstva.

Genetička različitost ili **raznolikost** (eng. *genetic diversity*) odnosi se na učestalost alela svih gena u nekoj populaciji, obuhvaća ukupno variranje svih svojstava. Neka od tih svojstava vidljiva su na fenotipu (boja zrna, oblik klipa, visina biljke i mnoga druga).

Prilagodba ili **adaptacija** (eng. *adaptation*) odnosi se na prilagođavanje nekog organizma na uvjete okoline. **Adaptabilnost** (eng. *adaptability*) je sposobnost adaptacije, prilagodljivost.

Genetička erozija (eng. *genetic erosion*) općenito je gubitak gena, odnosno gubitak genetičke raznolikosti kroz razne procese koji pokreću evoluciju poput prirodne selekcije, mutacija, genskog toka i genskog pomaka. U užem smislu može značiti i gubitak pojedinih alela.

Biljni genetički izvori (eng. *plant genetic resources*) odnose se na ukupnost informacija o nekoj biljnoj vrsti, uključujući sjeme, ali i genske i genomske podatke. Ovisno u kojem kontekstu se spominje, ovaj termin nekada se odnosi na fizički pohranjene uzorke biljnog materijala (značenje u užem smislu), a nekada na ukupne informacije o tim uzorcima koje su do tada prikupljene (značenje u širem smislu).

Kukuruz je u našim krajevima dobro poznata kultura, po površinama je najznačajniji usjev u Hrvatskoj, ima dugu tradiciju korištenja i često se može čuti kako, kolokvijalno govoreći, *o kukuruzu svi sve znaju*, ali je u zadnjih tridesetak (i više) godina o kukuruzu na hrvatskom jeziku napisano vrlo malo opsežnijih publikacija kao što su knjige ili udžbenici, što je vrlo neobično za zemlju koja se uobičajeno smatra kukuruznom (godišnja proizvodnja više od dva milijuna tona) i dio je tzv. Europskog kukuruznog pojasa. Više puta tražio sam informacije o nekim osnovnim pojmovima vezanim uz oplemenjivanje i proizvodnju kukuruza, ali ih u dostupnoj (i često previše staroj) literaturi nisam mogao ni naći niti propisno referencirati te sam kao zadnju opciju morao traženo skupljati iz puno raznih drugih akademskih i (češće) neakademskih izvora. Ovdje su navedeni neki specifični, ali važni i dalje aktualni pojmovi u proizvodnji kukuruza koji se u praksi redovno koriste, ali i često krivo interpretiraju (ili se uopće ne interpretiraju) te neki česti i važni pojmovi koji se različito (i često pogrešno) prevode s engleskog jezika.

Za početak, glede **sjetve** i **sadnje** (ovo je zaista više kao zanimljivost), neki proizvođači još uvijek govore kako *sade* kukuruz. No, svako se sjeme *sije*, a sve što je već niknulo, izraslo, dakle mlada biljka ili sadnica, se *sadi*. Pojmovi **zrno** (eng. *kernel*) i **sjeme** (eng. *seed*) ne moraju biti istoznačni, jer je zrno i botanički i agronomski termin, dok je sjeme isključivo agronomska kategorija koja ovisi o namjeni, u ovom slučaju sjetvi. Zrno je pojam iz botaničke klasifikacije plodova, a označava plod žitarica. Istovremeno, zrno je i agronomski pojam koji označava namjenu neke žitarice (npr. uzgoj za zrno). S druge strane, sjeme je samo ono zrno koje se sije, dakle ako se zrno sije, onda je sjeme, a ako se koristi za druge namjene, onda je samo zrno. Prema tome, *svako je sjeme zrno, ali nije svako zrno sjeme*.

U oplemenjivačkoj praksi, ali i kod mnogih proizvođača kukuruza uobičajeno je govoriti **berba** kukuruza, iako se tehnički gledano kukuruz bere samo u klip (eng. *picking*). Ako se kukuruz skida kombajnom ili drugim strojem kojim se vrši zrno, onda govorimo o **žetvi** (eng. *harvest*). Ovi pojmovi se različito koriste ovisno o proizvođačima, institucijama i uzgojnim regijama, ali općenito se može reći da se klip *bere*, a zrno *žanje*. Za oba pojma može se koristiti termin *skidanje*.

Nekada su proizvođači u našim krajevima sijali i brali **sorte** kukuruza. Neki to i danas rade pa uzgajaju, uglavnom na manjim površinama, poznate stare sorte kao što su Osmak (*osmoredac*) i druge, koristeći ih za prehranu (brašno, kruh, peciva, palenta, razne vrste kaša) i druge namjene. Ipak, velika većina proizvođača danas proizvodi **hibride**, a neki od njih hibride i dalje nazivaju sortama, što je pogrešno jer su to dva različita pojma. Kod hibrida se koristi prirodni fenomen heterozisa (bujnosti) u F₁ generaciji, stoga se svake godine stvara novo hibridno sjeme križanjem roditeljskih inbred linija u sjemenskoj proizvodnji. S druge strane, sorte se uzgajaju u slobodnoj oplodnji i to zrno koje se u jesen skine s polja sije se sljedeće sezone kao novi usjev, dakle uzgoj sorata ne zahtijeva posebno stvaranje sjemena nego se samo koristi postojeće koje se skida i sije kao nova generacija. Sukladno tome, a nastavno na prethodno napisano, zrno hibrida nije sjeme, dok zrno sorte jeste.

Također je važno istaknuti razliku između **sjemenske robe** i **merkantilne robe**, a razlika je u agronomskoj kategoriji – sjemenska roba je sjeme, dok merkantilna roba nije. U današnjoj je proizvodnji kukuruza *sjemenski kukuruz* namijenjen za sjetvu, dok je *merkantilni kukuruz* (eng. *mercantile*, što znači trgovački ili trgovinski) namijenjen za izravno korištenje (zrno, klip, silaža, sirovina za industrijsku preradu i drugo). Vezano uz ove definicije važno je istaknuti da se samo sjemenski materijal ubraja u germplazmu. U prošlosti, prije otkrića hibridnog kukuruza, svako zrno potencijalno je bilo i sjeme pa se tako svako zrno bilo koje sorte kukuruza može smatrati sjemenom ukoliko ga se koristi za tu namjenu. Zrno koje se nalazi na klipovima hibridnih biljaka (F₂ generacija) ne smatramo sjemenom jer se iduće sezone neće sijati nego će se koristiti za druge namjene. Teoretski, takvo zrno bi se iduće sezone moglo sijati, ali bi rezultiralo manjim biljkama i nižim prinosom pa se zato svake sezone nabavlja novo hibridno (F₁) sjeme kako bi se iskoristio učinak heterozisa i postigao najveći mogući prinos. Dakle, današnju germplazmu po namjeni možemo podijeliti na germplazmu koja se sije za dobivanje merkantilne robe (hibridi i u manjoj mjeri sorte, populacije i drugo), germplazmu koja se sije za dobivanje sjemenske robe (inbred linije) te ostalo (germplazma koja se sije radi genetičkih i ostalih istraživanja, očuvanja biljnih genetičkih izvora i drugo). Kada se uz pojam germplazme kukuruza koristi pojam *komercijalno*, obično se misli na elitni materijal (linije, populacije) pomoću kojega oplemenjivači unutar svojih programa razvijaju inbred linije i hibride. Ali isto tako, proizvođač može komercijalno proizvoditi sorte, popu-

lacije i ostale stare kultivare kukuruza (za ishranu, preradu, za ukras i razne druge namjene), iako za to kod nas, ali i u široj regiji danas praktički ne postoji neko značajnije tržište.

U ovome dijelu vrijedi još kao zanimljivost spomenuti kako se u praktičnom oplemenjivanju (ali zapravo i u drugim znanstvenim i stručnim krugovima) u Hrvatskoj danas koristi određena međunarodna terminologija koja nije potpuno u skladu s hrvatskim književnim jezikom. Tako primjerice oplemenjivači kukuruza neće u međusobnoj komunikaciji (pa ni u javnim obraćanjima na skupovima ili simpozijima) govoriti *heterotična skupina*, nego *heterotična grupa*, iako bi prema standardnom književnom jeziku trebalo koristiti riječ *skupina*. Isto tako, za određene skupine inbred linija koje se mogu grupirati u jednu skupinu, oplemenjivači će reći *familija* (npr. *familija B73*, koja obuhvaća sve linije i skupine linija koje su dobivene iz originalne linije B73), a ne *obitelj* ili *porodica* kao u botanici, isto kao što će umjesto *pelud* reći *polen* kukuruza, a umjesto *oprašivač* i *oprašivanje* reći će *polinator* i *polinacija*. Oplemenjivači u Hrvatskoj neće govoriti *odabir* nego *selekcija*, neće se spominjati *jednostruki hibrid* nego *single cross*, neće reći da su napravili *povratno križanje* nego *backcross* na neku drugu liniju ili da su napravili *uvođenje*, a ne *introdukciju* egzotične germplazme u elitni materijal i tako dalje. Dakle, u struci se redovito koriste ovakvi i slični (mogli bismo reći originalni) termini, često preuzeti iz engleskog jezika te su samo zbog te učestale uporabe ili navike ponekad ostavljeni i u literaturi. Slični primjeri mogu se naći i u raznim drugim strukama. U ovoj knjizi sve su riječi napisane prema standardnom književnom jeziku, koliko god to u praksi, odnosno u razgovornom jeziku struke nekada zvučalo nezgrapno.

Prevođenje s engleskog jezika

Engleski je uz mandarinski kineski najviše korišten svjetski jezik (**Melitz i Toubal** 2014.) i zadnjih desetljeća postao je neizostavni dio znanosti i struke (**Baethge** 2008.; **Woolston i Osório** 2019.), kako kod kukuruza, tako i u svakom drugom području istraživanja. U današnje vrijeme čestih suradnja i dobre povezanosti s mnogim drugim institucijama u svijetu gotovo je nezamislivo baviti se znanstvenim i stručnim radom bez poznavanja engleskog jezika. Zato je prevođenje s engleskog i na engleski od velike važnosti u istraživanju

i oplemenjivanju kukuruza. Mnogi pojmovi i njihovo korištenje u hrvatskom i engleskom jeziku manje se ili više razlikuju po namjeni pa ih se sukladno tome manje ili više pogrešno koristi. Ovdje su navedeni tek neki važniji pojmovi iz poljoprivrede i drugih pripadajućih ili vezanih aktivnosti (agronomija, biljne znanosti, oplemenjivanje i drugo), koji naposljetku mogu poslužiti i kao mali rječnik aktualnih pojmova s kojima se zapravo svakodnevno susrećemo. Iz istog razloga – važnosti engleskog jezika u znanosti i struci – mnogi pojmovi u ovoj knjizi napisani su i na engleskom jeziku zbog lakšeg praćenja i nalaženja u stranoj literaturi.

Jedan od glavnih pojmova upravo je **poljoprivreda**, koju u Hrvatskoj često percipiramo samo u smislu ratarstva i stočarstva i pripadajućih aktivnosti, dok se poljoprivreda (eng. *agriculture*) zapravo grana na više različitih grana poput agronomije (biljna proizvodnja; eng. *agronomy*), proizvodnje domaćih životinja (stočarstvo; eng. *animal husbandry*), šumarstva (eng. *forestry*), hortikulture (eng. *horticulture*), ribarstva (eng. *fisheries*), mehanizacije (eng. *engineering*), ekonomike (eng. *economics*) i ostalih grana. Poljoprivreda se u znanstvenom smislu (eng. *agricultural research*) može podijeliti na više grana kao što su znanosti o biljnom svijetu ili biljne znanosti (eng. *plant sciences*) poput botanike i oplemenjivanja bilja, znanosti o životinjskom svijetu ili životinjske znanosti (eng. *animal sciences*) i mnoge druge. Znanstvene discipline se više ili manje terminološki preklapaju s gospodarskim aktivnostima, primjerice istraživanja na kukuruзу (eng. *maize research* ili *maize science*), genetika kukuruza (eng. *maize genetics*), oplemenjivanje kukuruza (eng. *maize breeding*) i proizvodnja kukuruza (eng. *maize production*) povezani su pojmom poljoprivreda, bitan je jedino kontekst (gospodarski ili znanstveni) u kojemu se nešto od toga spominje. U slučaju kukuruza (i drugih kultura) ukoliko su istraživanje i oplemenjivanje unutar jednog kompleksa to se naziva znanost i razvoj (eng. *research and development* – R&D).

U Hrvatskoj termin *poljoprivreda* koristimo opisujući gospodarsku djelatnost (u nadležnosti Ministarstva poljoprivrede) te znanstveno polje u sklopu znanstvenog područja Biotehničkih znanosti (u nadležnosti Ministarstva znanosti). Primjerice, unutar znanstvenog polja Poljoprivreda, Oplemenjivanje biljaka, životinja i mikroorganizama jedna je od pripadajućih grana. Slično je i u Sjedinjenim Američkim Državama, gdje je poljoprivreda u gospodarskom smislu u nadležnosti Ministarstva poljoprivrede Sjedinjenih Američkih Država

(USDA), dok je sve ono što uključuje znanstvena istraživanja (osim medicinskih koji su u nadležnosti Nacionalnog instituta za zdravstvo – NIH) u nadležnosti američke Državne zaklade za znanost. Kako je cijeli sustav u pojedinoj državi vrlo složen i slojevit, gospodarska i znanstvena poljoprivredna djelatnost više se ili manje preklapaju. Vezano uz upotrebu ovih termina, primjerice fakultet u Zagrebu zove se Agronomski fakultet, a na engleskom *Faculty of Agriculture*, što nije dosljedno prevedeno. Poljoprivredni fakultet u Osijeku (*Faculty of agriculture in Osijek*) od 2018. godine postao je Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek (*Faculty of agrobiotechnical sciences Osijek*), dok Poljoprivredni institut Osijek (*Agricultural institute Osijek*) pod svojim imenom objedinjuje svoja tri glavna pravca aktivnosti: oplemenjivanje bilja, sjemenarstvo i znanstveno istraživanje (eng. *plant breeding, seed production and research*).

Jedan od često korištenih pojmova u oplemenjivanju bilja i sjemenarstvu je *variety*. Taj termin koristi se za **sortu** (npr. sorta soje ili stare sorte kukuruza), za botanički **varijetet** (kategorija koja je ispod vrste i podvrste, a može se opisati i kao određeni tip u okviru neke podvrste), ali i općenito za bilo koji **kultivar**.

Pojam **priznavanje** kultivara neki prevode kao *recognition*, što bi trebalo prevesti kao *registration*, jer ono što mi nazivamo priznavanje zapravo je uvođenje kultivara na sortnu listu (registar), odnosno u proizvodnju. Termin *recognition* znači *prepoznavanje*, iako mnogi rječnici (pogotovo internetski) na zatraženu riječ *priznavanje* prvo nude upravo riječ *recognition*, dakle više to povezuju s terminom *priznati* u općenitom smislu, dok je kontekst kod priznavanja kultivara usko specifičan. Dakle, u engleskom jeziku kultivari se ne priznavaju, nego registriraju, glagol *priznati* – za razliku od primjerice politike ili prava – ne koristi se u kontekstu kultivara. Kada govorimo o priznavanju kultivara, u zadnjih petnaestak godina za oplemenjivače je postalo aktualno korištenje slobodno dostupne elitne američke germplazme, odnosno inbred linija kojima je istekla patentna zaštita (obično u trajanju od 20-ak godina). Takva germplazma zove se *ex-plant-variety-protection* (**ex-PVP**) germplazma.

Hrvatski oplemenjivači za razvoj linija i hibrida koriste pojam **stvaranje**, no u engleskom jeziku, vezano uz ovo znanstveno-stručno područje, upotreba

ovoga glagola je drugačija. Tako se glagol *stvarati* (eng. *create*) više koristi primjerice u umjetnosti za nešto što se u relativno kratkom roku stvara ni iz čega, odnosno od nekog materijala (poput kipa, slike ili drugog umjetničkog djela), dok se za ovakve specifične procedure, koje uključuju neki tehnički ili tehnološki proces postupnog dobivanja nekog proizvoda (kultivara) kroz određeno vremensko razdoblje koristi pojam *razvijati* (eng. *develop*). Tako recimo pojam *stvaranje hibrida* ne možemo prevesti kao *creation of hybrids*, nego kao *development of hybrids* ili još bolje *hybrid development*.

Česta su pogrešna tumačenja (odnosno prijevod) pojma **namjena**. Namjena poljoprivrednih proizvoda odnosi se na njihovu upotrebu (eng. *use*) i ne prevodi se kao *purpose*, kao u slučaju namjene knjige ili priručnika. Pojam *purpose* odnosi se na svrhu ili cilj, a u slučaju poljoprivrednih proizvoda poput hibrida kukuruza ne pitamo koja je njihova svrha (iako bismo teoretski mogli ako bismo htjeli generalizirati), nego koja je njihova namjena, odnosno *za što* (a ne *zašto*) se koriste.

Nadalje, jedan od najvažnijih čimbenika u proizvodnji kukuruza je **otpuštanje vlage** zrna, što se prevodi kao *moisture drydown*, ne kao *water release* i slično, a za **visinu biljke** treba se koristiti isključivo pridjev *high*, a ne *tall* kao što je slučaj kada se opisuje visina kod ljudi. Općenito se za **sjetvu** biljaka koristi pojam *sowing*, a za sadnju *planting*, ali u mnogim se zemljama za sjetvu kukuruza također koristi termin *planting*, što je poteklo iz SAD-a. Vežano uz sjetvu, česti su upiti o ispravnom prevođenju pojma **postrna sjetva**, što se najbolje može prevesti kao *second crop* ili kroz određena opisna objašnjenja.

Često se u rječnicima i na internetskim pretraživačima za traženi pojam nudi više riječi. Koja će se riječ koristiti ovisi najviše o kontekstu. Isto tako, česti su slučajevi da određeni pojam u hrvatskom jeziku nema istoznačnu varijantu u engleskom jer se konteksti u engleskom i hrvatskom jeziku nekada razlikuju, stoga je jedino moguće rješenje naprosto odabrati drugi pojam (dobar primjer bi mogao biti ranije objašnjeni pojam *priznavanje* – u Hrvatskoj se hibridi priznavaju, a u Sjedinjenim Američkim Državama registriraju, dakle te dvije riječi, njihova značenja i konteksti u kojima se koriste ovdje se razlikuju, što kod prevođenja moramo uzeti u obzir).

Vrijedi spomenuti kako neki pojmovi iz genetike i oplemenjivanja bilja u engleskom jeziku nemaju odgovarajuću riječ u hrvatskom jeziku ili je točan prijevod nedovoljno precizan i/ili kompliciran pa se koriste tuđice ili opisni nazivi, primjerice *landrace*, što bi se najbolje (ali ne i najspretnije jer je specifičnije od toga) moglo prevesti kao sorta, zatim pojmovi kao što su *inbred line*, *progenitor line*, *gene pool*, *genetic drift*, *crossing over*, *DNA-fingerprinting*, *SNP* (izgovara se kao *snip*), *G×E interakcija*, *ex-PVP*, *DUS*, *split plot* i drugi. Isto tako, mnogi strani pojmovi su iz engleskog jezika preuzeti u hrvatski standardni jezik gotovo (ili sasvim) takvi kakvi jesu (npr. mitotiza, nukleotid, gen, alel, kromosom, fenotip, marker, lokus, polimorfizam, pleiotropija i mnogi drugi)*. Određeni pojmovi iz latinskog jezika koriste se u originalnom obliku (npr. *ad hoc*, *in situ*, *ex situ*, *in vitro*, *de novo*, *per se* i slično).

* Mnoge riječi u engleskom jeziku imaju strani korijen (npr. riječi *mitosis* i *meiosis* dolaze iz grčkog jezika i slično).



Literatura

- Abate T., Fisher M., Abdoulaye T., Kassie G.T., Lunduka R., Marenya P., Asnake W. (2017). Characteristics of maize cultivars in Africa: How modern are they and how many do smallholder farmers grow? *Agriculture & Food Security* 6:30.
- Acquaah G. (2007). Principles of plant genetics and breeding. Blackwell Publishing.
- Agriculture Handbook No 8 - 20: Composition of Foods - Cereal Grains and Pasta - DL Drake, SE Gebhardt, RH Matthews, Nutrition Monitoring Division, Human Nutrition Information Service, USDA - Superintendent of Documents, US Government Printing Office, Washington, DC 20402 - 1989, pp 137.
- Akst J. (2017). Record-setting corn grows 45 feet tall: A plant breeder succeeds in growing a huge maize plant thanks to a known mutation and a few environmental tricks. *The Scientist*, April 17, 2017.
- Anderson E., Cutler H.C. (1942). Races of Zea mays: I. Their recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 29:69-89.
- Anderson R.M. (2007). A lesson learned. *Seed World*. June 22-26. Grand Forks, ND.
- Andorf C.M., Beavis W.D., Hufford M., Smith S., Suza W.P., Wang K., Woodhouse M.R., Yu J., Lübberstedt T. (2019). Technological advances in maize breeding: past, present and future. *Theoretical and Applied Genetics* 132(3):817-849.
- Anđelković V., Ignjatović-Micić D. (2012). Maize genetic resources – science and benefits. Serbian Genetic Society: Maize Research Institute „Zemun Polje“.
- Anić Š., Klaić N., Domović Ž. (2002.). Rječnik stranih riječi. Sani-Plus, Zagreb.
- Anić V. (1996.). Rječnik hrvatskoga jezika. Novi Liber, Zagreb.
- Anić V. (2007.). Rječnik hrvatskoga jezika. Europapress Holding i Novi Liber, Zagreb.
- Anić V., Goldstein I. (2007.). Rječnik stranih riječi. Europapress Holding i Novi Liber, Zagreb.
- Anonymous (2006). Iowa Seed Directory - for seed grown in 2006. Iowa Crop Improvement Association. Ames, IA.
- APG IV (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. This paper was compiled by J.W. Byng, M.W. Chase, M.J.M.Christenhusz, M.F. Fay, W.S. Judd, D.J. Mabberley, A.N. Sennikov, D. E. Soltis, P. S. Soltis and P.F. Stevens, who were equally responsible and listed here in alphabetical order only, with contributions from B. Briggs, S. Brockington, A. Chautems, J.C. Clark, J. Conran, E. Haston, M. Möller, M. Moore, R. Olmstead, M. Perret, L. Skog, J. Smith, D. Tank, M. Vorontsova and A. Weber. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181:1-20.

- Atkinson A., Wilson M.L. (1915). Corn in Montana. Bulletin 107. Montana Agricultural Experiment Station, Bozeman, MT.
- Attenborough D. (2020). Život na našem planetu. Školska knjiga, Zagreb.
- Ayala F.J. (2009). Darwin and the scientific method. *PNAS* 106(suppl. 1):10033-10039.
- Babić S., Finka B., Moguš M. (1994.). Hrvatski pravopis. Školska Knjiga, Zagreb.
- Babić V., Ivanović M., Babić M. (2012). Nastanak i evolucija kukuruza i putevi uvođenja u naše krajeve. *Ratarstvo i povrtarstvo* 49:92-104.
- Baethge C. (2008). The languages of medicine. *Deutsches Ärzteblatt International* 105(3):37-40.
- Bak R.O., Gomez-Ospina N., Porteus M.H. (2018). Gene editing on center stage. *Trends in Genetics* 34(8):600 - 611.
- Balint-Kurti P., Blanco M., Millard M., Duvick S., Holland J., Clements M., Holley R., Carson M.L., Goodman M.M. (2006). Registration of 20 GEM maize breeding germplasm lines adapted to the southern USA. *Crop Science* 46:996-998.
- Baltazar B.M., Sánchez-Gonzalez J.J., de la Cruz-Larios L., Schoper J.B. (2005). Pollination between maize and teosinte: an important determinant of gene flow in Mexico. *Theoretical and Applied Genetics* 110:519-526.
- Barber S.A., Olson R.A. (1968). Fertilizer use on corn. In: Nelson et al. (eds.) Changing patterns in fertilizer use. SSSA, Madison, Wisconsin.
- Barghoorn E.S., Wolf M.K., Clisby K.H. (1954). Fossil maize from the valley of Mexico. *Botanical Museum Leaflets, Harvard University* 16:229-240.
- Bassham J.A., Barker S.A., Calvin M., Quarck U.C. (1956). Intermediates in the photosynthetic cycle. *Biochimica et Biophysica Acta* 21:376-377.
- Beadle G.W. (1932). Studies of *Euchlaena* and its hybrids with *Zea*. 1. Chromosome behavior in *Euchlaena mexicana* and its hybrids with *Zea mays*. *Z. Abstammung Vererbungslehre* 62:291-304.
- Beadle G.W. (1939). Teosinte and the origin of maize. *Journal of Heredity* 30:245-247.
- Beadle G.W. (1950). Rollins Adams Emerson. *Genetics* 35:1-3.
- Beadle G. W. (1972). The mystery of maize. *Field Museum of Natural History Bulletin* 43:2-11.
- Beadle, G.W. (1977). The origin of *Zea mays*. In: Reed C.E. (ed.) *Origins of Agriculture*, Mouton, The Hague, pp 615-635.

- Beadle G.W. (1978). Teosinte and the origin of maize. In: Walden D.B. (ed.) *Maize Breeding and Genetics*, Wiley, New York, pp 113-128.
- Beadle G.W. (1980). The ancestry of corn. *Scientific American* 242(1):112-119.
- Beadle G.W. (1981). Origin of corn: pollen evidence. *Science* 213:890-892.
- Beckett T.J., Morales A.J., Koehler K.L., Rocheford T.R. (2017). Genetic relatedness of previously Plant-Variety-Protected commercial maize inbreds. *PLoS ONE* 12(12): e0189277.
- Bedoya C.A., Dreisigacker S., Hearne S., Franco J., Mir C., Prasanna B.M., Taba S., Charcosset A., Warburton M.L. (2017) Genetic diversity and population structure of native maize populations in Latin America and the Caribbean. *PLoS ONE* 12(4):e0173488.
- Bennett C.L., Beukens R.P., Clover M.R., Gove H.E., Liebert R.B., Litherland A.E., Purser K.H., Sondheim W.E. (1977). Radiocarbon dating using electrostatic accelerators: negative ions provide the key. *Science* 198 (4316):508-510.
- Bennetzen J., Buckler E., Chandler J., Doebley J., Dorweiler J., Gaut B., Freeling M., Hake S., Kellogg E., Poethig R.S., Walbot V., Wessler S. (2001). Genetic evidence and the origin of maize. *Latin American Antiquity* 12:84-86.
- Bennetzen J. (2009). The future of maize. In: Bennetzen J.L., Hake S.C. (eds.) *Handbook of Maize: Genetics and genomics*, Springer, New York, NY, pp 771-779.
- Benson D.A., Boguski M.S., Lipman D.J., Ostell J. (1997). GenBank. *Nucleic Acids Research* 25(1):1-6.
- Benson D.A., Cavanaugh M., Clark K., Karsch-Mizrachi I., Lipman D.J., Ostell, J., Sayers E.W. (2013). GenBank. *Nucleic Acids Research* 41(D1):36-42.
- Benson K.R.T.H. (2001). Morgan's resistance to the chromosome theory. *Nature Reviews Genetics* 2:469-474.
- Benz B.F. (2001). Archeological evidence of teosinte domestication from Guilá Naquitz, Oaxaca. *PNAS* 98(4):2104-2106.
- Benz B.F. (2006). Maize in the Americas. In: Staller J.E., Tykot R.H., Benz B.F. (eds.) *Histories of maize: multidisciplinary approaches to the prehistory, linguistics, biogeography, domestication, and evolution of maize*. Routledge, Taylor & Francis Group, London and New York, pp 9-20.
- Benz B.F., Iltis, H.H. (1990). Studies in archaeological maize I: The "wild" maize from San Marcos Cave reexamined. *American Antiquity* 55(3):500-511.
- Benz B.F., Iltis H.H. (1992). Evolution of female sexuality in the maize ear (*Zea mays* L. subsp. *mays* – Gramineae). *Economic Botany* 46(2):212-222.

- Benz B.F., Staller J.E. (2006). The antiquity, biogeography, and culture history of maize in the Americas. In: Staller J.E., Tykot R.H., Benz B.F. (eds.) *Histories of maize: multidisciplinary approaches to the prehistory, linguistics, biogeography, domestication, and evolution of maize*. Routledge, Taylor & Francis Group, London and New York, pp 665-673.
- Berger F., Hamamura Y., Ingouff M., Higashiyama T. (2008). Double fertilization – caught in the act. *Trends in Plant Science* 13(8):437-443.
- Bernardo R. (2014). *Essentials of plant breeding*. 2014. Stemma Press, Woodbury, Minnesota.
- Bernardo R. (2020). *Breeding for quantitative traits in plants*, Third Edition. Stemma Press, Woodbury Minnesota.
- Biles R. (2005). *Illinois: A history of the land and its people*. DeKalb: Northern Illinois University Press.
- Bird A. (2007). Perceptions of epigenetics. *Nature* 447:396-398.
- Blacklow, W.M. (1972). Influence of temperature on germination and elongation of the radicle and shoot of corn (*Zea mays* L.). *Crop Science* 12:647-650.
- Blagus Bartolec G., Hudeček L., Jozić Ž., Matas Ivanković I., Mihaljević M. (2016.). 555 jezičnih savjeta. Institut za hrvatski jezik i jezikoslovlje, Zagreb.
- Blake M. (2006). Dating the initial spread of *Zea mays*. In: Staller J.E., Tykot R.H., Benz B.F. (eds.) *Histories of maize: multidisciplinary approaches to the prehistory, linguistics, biogeography, domestication, and evolution of maize*. Routledge, Taylor & Francis Group, London and New York, pp 55-72.
- Blake M. (2015). *Maize for the Gods*. University of California Press, Oakland, California.
- Blake M., Chisolm B.S., Clark J.E., Voorhies B., Michaels G., Love M.W., Pye M.E., Demarest A.A., Arroyo B. (1995). Radiocarbon chronology for the late archaic and formative periods on the Pacific coast of southeastern Mesoamerica. *Ancient Mesoamerica* 6:161-183.
- Blossiers Pinedo J., Deza Pineda C., León Huaco B., Samané Mera R. (2000). Agricultura de laderas a través de andenes, Perú. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia: Experiencias en América Latina. Serie: Zonas áridas y semiáridas No 13, En colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Oficina regional de la FAO para América Latina y El Caribe, Santiago, Chile 2000.
- Bollet A.J. (1992). Politics and pellagra: The epidemic of pellagra in the U.S. In the early twentieth century. *The Yale Journal of Biology and Medicine* 65(3):211-221.
- Bonavia D. (2013). *Maize: Origin, domestication, and its role in the development of culture*. Cambridge University Press. New York.

- Borém A., Guimarães E.P., Federizzi L.C., Ferraz de Toledo J.F. (2002). From Mendel to genomics, plant breeding milestones: a review. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 2(4):649-658.
- Bosch L., Casañas F., Abnirall A., Sánchez E., Nuez F. (2003). Tropical X temperate maize germplasm: Specific recurrent selection for grain yield involving across 8443 la posta composite. *Maydica* 48:313-317.
- Bourbon F., Albanese M.A., Corradi G.M., Demichelis S., Durando F., Longhena M., Kochav S., Merchionne G., Viola D., Tiradritti F. (1998). Lost civilizations: Rediscovering the great cultures of the past. White Star S.p.A., Vercelli, Italy.
- Börner A., Landjeva S., Nagel M., Rehman Arif M.A., Allam M., Agacka M., Doroszewska T., Lohwasser U. (2014). Plant genetic resources for food and agriculture (PGRFA) – Maintenance and research. Genetics and Plant Physiology, Conference “Plant Physiology and Genetics – Achievements and Challenges”, 24-26 September 2014, Sofia, Bulgaria, Special Issue (Part 1), 4(1-2):13-21.
- Braidotti G. (2016). The decision to nationalise Australia’s grain genetic resources is paying off as the site chosen for the Australian Grains Genebank becomes a regional innovation hub with world-class capability. Grains Research and Development Corporation, GroundCover™ Issue: 124, 29 Aug 2016.
- Brandenburg J.T., Mary-Huard T., Rigai G., Hearne S.J., Corti H., Joets J., Vitte C., Charcosset A., Nicolas S.D., Tenailon M.I. (2017). Independent introductions and admixtures have contributed to adaptation of European maize and its American counterparts. *PLOS Genetics* 13(3):e1006666.
- Brandolini A. (1969). European races of maize. *Proceedings of the Annual Corn and Sorghum Research Conference* 24:36-48.
- Brandolini A. (1970). Razze Europee di mais. *Maydica* 15:5-27.
- Brandolini A. (1971). Preliminary report on south European and Mediterranean maize germplasm. Proceedings of the Fifth Meeting of the Maize and Sorghum Section EUCARPIA, pp 108-116.
- Brandolini A., Avila G. (1971). Effects of Bolivian maize germplasm in south European maize breeding. Proceedings of the Fifth Meeting of the Maize and Sorghum Section EUCARPIA, pp 117-135.
- Brandolini A., Brandolini A. (2009). Maize introduction, evolution and diffusion in Italy. *Maydica* 54:233-242.
- Brieger F.G., Gurgel J.T.A., Paterniani, E., Blumenschein A., Alleoni M.R. (1958). Races of maize in Brazil and other South American countries. NAS-NRC Publ. 593.
- Brink R.A., Abegg, F. (1926). Dynamics of the waxy gene in maize. *Genetics* 11:163-199.

- Brkić A. (2012). Genotipska varijabilnost prirodne otpornosti na kukuruznu zlaticu (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) u germplazmi kukuruza. Doktorska disertacija, Poljoprivredni institut Osijek, Osijek, 2012.
- Brkić I., Brkić A., Ivezić M., Ledenčan T., Jambrović A., Zdunić Z., Brkić J., Raspudić E., Šimić D. (2012). Resource allocation in a maize breeding program for native resistance to western corn rootworm. *Poljoprivreda* 18(1):3-7.
- Brkić A., Brkić I., Raspudić E., Brmež M., Brkić J., Šimić D. (2015). Relations among western corn rootworm resistance traits and elements concentration in maize germplasm roots. *Poljoprivreda* 21(1):3-7.
- Brkić A., Brkić I., Jambrović A., Ivezić M., Raspudić E., Brmež M., Zdunić Z., Ledenčan T., Brkić J., Marković M., Krizmanić G., Šimić D. (2017). Maize germplasm of Eastern Croatia with native resistance to western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte). *Genetika* 49(3):1023-1034.
- Brkić A., Šimić D., Jambrović A., Zdunić Z., Ledenčan T., Raspudić E., Brmež M., Brkić J., Mazur M., Galić V. (2020a). QTL analysis of western corn rootworm resistance traits in maize IBM population grown in continuous maize. *Genetika* 52(1):137-148.
- Brkić A., Jambrović A., Brkić I., Zdunić Z., Ledenčan T., Šimić D., Brkić J., Marković M., Galić V. (2020b). Analysis of the pre-commission maize breeding trials and the germplasm developments in Altinova breeding station from 2015 to 2018. *Journal of Central European Agriculture* 21(1):77-82.
- Brkić I. (1996). Oplemenjivačka vrijednost samooplodnih linija kukuruza podrijetlom iz različitih heterotičnih skupina. Doktorska disertacija, Poljoprivredni institut Osijek, Osijek, 1996.
- Brkić I., Šimić D., Zdunić Z., Jambrović A., Ledenčan T., Kovačević V., Kadar I. (2003a). Combining abilities of Corn-Belt inbred lines of maize for mineral content in grain. *Maydica* 48:293-297.
- Brkić I., Šimić D., Jambrović A., Zdunić Z., Ledenčan T. (2003b). Genetic diversity among and within maize inbreds as revealed by 100 SSR markers. *Sjemenarstvo* 20:1-2.
- Brkić I., Šimić D., Zdunić Z., Jambrović A., Ledenčan T., Kovačević V., Kadar I. (2004). Genotypic variability of micronutrient element concentrations in maize kernels. *Cereal Research Communications* 32(1):107-112.
- Brown W.L. (1960). Races of maize in the West Indies. NAS-NRC Publ. 792.
- Brown W.L., Zuber, M.S., Darrah, L.L., Glover D.V. (1986). Origin, adaptation and types of corn. National Corn Handbook 1985. pp 1-6.
- Brown W.L., Goodman M.M. (1977). Races of maize. In: Sprague G.F. (ed.) Corn and Corn Improvement, pp 49-88. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Brownlee C. (2004). Biography of John Doebley. *PNAS* 101(3):697-699.

- Bruns H. A. (2017). Southern corn leaf blight: A story worth retelling. *Agronomy Journal* 109:1-7.
- Brunson A.M., Richardson D.L. (1958). Popcorn. USDA Farmer's Bulletin No. 1679.
- Buckler E.S., Stevens N.M. (2006). Maize origins, domestication, and selection. In: Motley T.J., Zerega N., Cross H. (eds.) Darwin's harvest: New approaches to the origins, evolution, and conservation of crops. Columbia University Press, 2006.
- Buhiniček I., Kaučić D., Kozić Z., Jukić M., Gunjača J., Šarčević H., Štepinac D., Šimić D. (2021). Trends in maize grain yields across five maturity groups in a long-term experiment with changing genotypes. *Agriculture* 11(9):887.
- Burdo B., Gray J., Goetting-Minesky M.P., Wittler B., Hunt M., Li T., Velliquette D., Thomas J., Gentzel I., dos Santos Brito M., Mejía-Guerra M.K., Connolly L.N., Qaisi D., Li W., Casas M.I., Doseff A.I., Grotewold E. (2014). The Maize TFome—development of a transcription factoropen reading frame collection for functional genomics. *The Plant Journal* 80:356-366.
- Burton G.W. (1981). Meeting human needs through plant breeding: past progress and prospects for the future. In: Frey K.J. (ed.) Plant breeding II, The Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Burt-Davy J. (1914). Maize: It's history, cultivation, handling, and uses. London: Longmans, Green, 1914.
- Bustos-Korts D., Malosetti M., Chapman S., van Eeuwijk F. (2016). Modelling of genotype by environment interaction and prediction of complex traits across multiple environments as a synthesis of crop growth modelling, genetics and statistics. In: Yin X., Struik P.C. (eds.) Crop systems biology. © Springer International Publishing Switzerland 2016.
- Byerlee D., Eicher C. (1997). Africa's emerging maize revolution. Boulder, Colo.: Lynn Rienner, 1997.
- Cardwell V.B. (1982). Fifty years of Minnesota corn production: Sources of yield increase. *Agronomy Journal* 74:984-990.
- CBOT-CME (2021). (https://www.cmegroup.com/trading/agricultural/grain-and-oilseed/corn_quotes_settlements_futures.html)
- Cerrudo D., Cao S., Yuan Y., Martinez C., Suarez E.A., Babu R., Zhang X., Trachsel S. (2018). Genomic selection outperforms marker assisted selection for grain yield and physiological traits in a maize doubled haploid population across water treatments. *Frontiers in Plant Science* 9:366.
- Charles D. (2006). A 'forever' seed bank takes root in the Arctic. *Science* 312(5781):1730-1731.

- Chen F., Li W. (2001). Genomic divergences between humans and other hominoids and the effective population size of the common ancestor of humans and chimpanzees. *American Journal of Human Genetics* 68:444-456.
- Cherniwchan J., Moreno-Cruz J. (2019). Maize and precolonial Africa. *Journal of Development Economics* 136:137-150.
- Cho K.T., Portwood J.L. II, Gardiner J.M., Harper L.C., Lawrence-Dill C.J., Friedberg I. Andorf C.M. (2019). MaizeDIG: Maize database of images and genomes. *Frontiers in Plant Science* 10:1050.
- Chojnacki S., Cowley A., Lee J., Foix A., Lopez R. (2017). Programmatic access to bioinformatics tools from EMBL-EBI update: 2017. *Nucleic Acids Research* 45(1):550-553.
- Christenhusz M.J.M., Byng J.W. (2016). The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa* 261(3):201-217.
- Cihacek L.J., Mulvaney D.L., Olson R.A., Welch R.F., Wiese R.A. (1974). Phosphate placement for corn in chisel and moldboard plowing systems. *Agronomy Journal* 66(5):665-668.
- CIMMYT (2020). Seeds of change. CIMMYT Annual Report 2019. CDMX, Mexico: CIMMYT.
- Clampitt C. (2015). Midwest maize: How corn shaped the U. S. heartland. University of Illinois Press, Urbana, Chicago, and Springfield.
- Clark J.E. (1994). The development of early formative rank societies in the soconusco, Chiapas, Mexico. Ph.D. dissertation, University of Michigan, Ann Arbor. Ann Arbor: University Microfilms.
- CME (2022). <https://www.cmegroup.com/markets/agriculture/grains/corn.settlements.html>
- Codd E.F. (1970). A relational model of data for large shared data banks. *Communications of the ACM* 13(6):377-387.
- Coe Jr. E.H. (2001). The origin of maize genetics. *Nature Reviews Genetics* 2:898-905.
- Coffman F.A. (1923) The minimum temperature for germination of seed. *Journal of the American Society of Agronomy* 15:257-270.
- Coffman S.M. (2018). Haplotype sharing analysis in maize ex-PVP germplasm and relationships with key founders. MSc Thesis. Iowa State University. Graduate Theses and Dissertations. 17167.
- Coffman S.M., Hufford M.B., Andorf C.M., Lübberstedt T. (2019). Haplotype structure in commercial maize breeding programs in relation to key founder lines. *Theoretical and Applied Genetics* 133(2):547-561.

- Cohen J.I., Tracy W.F., Kato T.A. (2007). The world surrounding Walton C. Galinat's research: personalities, students, history, and disputes. A tribute. *Maydica* 52:3-11.
- Colbert T.B. (2000). Iowa farmers and mechanical corn pickers, 1900-1952. *Agricultural History* 74(2):530-544.
- Collins G.N. (1909). A new type of Indian corn from China. USDA Bur. Plant
- Collins G.N. (1912). Gametic coupling as a cause of correlations. *American Naturalist* 46:559-590.
- Cornell J.D. (2007). Slash and burn. Encyclopedia of Earth (EoE). www.eoearth.org
- Correns C. (1901). Bastarde zwischen Maisrassen, mit besonderer Berücksichtigung der Xenien. *Bibliotheca Botanica* 53:1-161.
- Cowgill G.L. (1997). State and society at Teotihuacan, Mexico. *Annual Review of Anthropology* 26:129-161.
- Creighton H., McClintock B. (1931). A correlation of cytological and genetical crossing-over in *Zea mays*. *PNAS* 17(8):492-497.
- Crick F.H.C. (1958). On protein synthesis. *Symposia of the Society for Experimental Biology* 12:138-163.
- Cronon W. (1991). *Nature's metropolis: Chicago and the Great West*. New York: Norton 1991.
- Cronquist A. (1968). *The evolution and classification of flowering plants*. Houghton Mifflin Company, Boston, Massachusetts.
- Crosby A.W. (1972). *The Columbian exchange: Biological and cultural consequences of 1492*. Greenwood Publishing Company, Westport, Connecticut.
- Crossa J., Taba S., Eberhart S.A., Bretting P., Vencovsky R. (1994). Practical considerations for maintaining germplasm in maize. *Theoretical and Applied Genetics* 89:98-95.
- Crow J.F. (1998). 90 years ago: The beginning of hybrid maize. *Genetics* 148(3):923-928.
- Curtin P.D. (1969). *The Atlantic slave trade: a census*. The University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin.
- Cutler H.C., Blake L.W. (2001). North American Indian corn. In: Blake L.W., Cutler H.C. (eds.) *Plants from the past*. The University of Alabama Press, Tuscaloosa, pp 16-36.
- Čuljat M., Barčić J. (1997.). *Poljoprivredni kombajni*. Poljoprivredni institut Osijek, Osijek 1997.
- d'Anghiera P.M. (1912) *De orbe novo*, translated from the Latin with notes and introduction by Francis Augustus MacNutt, New York: Putnam, 1912. 2 vols.

- da Fonseca R.R., Smith B.D., Wales N., Cappelini E., Skoglund P., Fumagalli M., Samaniego J.A., Carøe C., Ávila-Arcos M.C., Huffnagel D.E., Korneliussen T.S., Vieira F.G., Jakobsson M., Arriaza B., Willerslev E., Nielsen R., Hufford M.B., Albrechtsen A., Ross-Ibarra J., Gilbert M.T.P. (2015). The origin and evolution of maize in the southwestern United States. *Nature Plants* 1(1):1-5.
- Darwin C.R. (1859). On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life. London: John Murray. [1st edition].
- De Frece A., Poole N. (2008). Constructing livelihoods in rural Mexico: milpa in Mayan culture. *Journal of Peasant Studies* 35(2):335-352.
- De Wet J.M.J., Harlan J.R. (1972). Origin of maize: The tripartite hypothesis. *Euphytica* 21:271-279.
- Denevan W.M. (1992). The pristine myth: The landscape of the Americas in 1492. *Annals of the Association of American Geographers* 82(3):369-385.
- Desjardins A., McCarthy S. (2004). Milho, makka and yu mai: Early journeys of *Zea mays* to Asia. May 15, 2004. Biblioteca Nacional de Agricultura del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Dobyns H.F. (1966). Estimating aboriginal American population: An appraisal of techniques with a new hemispheric estimate. *Current Anthropology* 7(4):395-416.
- Doebley J.F. (1990). Molecular evidence and the evolution of maize. *Economic Botany* 44(3 SUPPLEMENT):6-27.
- Doebley J.F. (1992). Mapping the genes that made maize. *Trends in Genetics* 8(9):302-307.
- Doebley J. (1996). Genetic dissection of the morphological evolution of maize. *Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany* 14(4):297-304.
- Doebley J.F. (2001). George Beadle's other hypothesis: one-gene, one-trait. *Genetics* 158:487-493.
- Doebley J.F. (2004). The genetics of maize evolution. *Annual Review of Genetics* 38:37-59.
- Doebley J.F., Iltis H.H. (1980). Taxonomy of *Zea* (Gramineae) I. Subgeneric classification with key to taxa. *American Journal of Botany* 7:982-993.
- Doebley, J.F., Stec A. (1991). Genetic analysis of the morphological differences between maize and teosinte. *Genetics* 129:285-295.
- Doebley J.F., Stec A. (1993). Inheritance of the morphological differences between maize and teosinte: comparison of the results for two F₂ populations. *Genetics* 134:559-70.
- Doebley J.F., Stec A., Hubbard L. (1997). The evolution of apical dominance in maize. *Nature* 386:485-88.

- Doebley J.F., Goodman M.M., Stuber C.W. (1984). Isoenzymatic variation in *Zea* (Gramineae). *Systematic Botany* 9(2):203-218.
- Dorweiler J., Stec A., Kermicle J., Doebley J.F. (1993). Teosinte glume architecture 1: A genetic locus controlling a key step in maize evolution. *Science* 262:233-235.
- Dorweiler J., Doebley J.F. (1997). Developmental analysis of teosinte glume architecture 1: a key locus in the evolution of maize (Poaceae). *American Journal of Botany* 84(10):1313-22.
- Dowswell C., Paliswal R.L., Cantrell R.P. (1996). Maize in the Third world. Boulder, Colo.: Westview, 1996.
- Dubreuil P., Warburton M., Chastanet M., Hoisington D., Charcosset A. (2006). More on the introduction of temperate maize into Europe: large-scale bulk SSR genotyping and new historical elements. *Maydica* 51:281-291.
- Dumanović J., Pajić Z. (1998.). Specifični tipovi kukuruza. Institut za kukuruz „Zemun Polje“, Beograd.
- Duvick D.N. (2005). The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advances in Agronomy* 86:83-145.
- Duvick J., Fu A., Muppirala U., Sabharwal M., Wilkerson M.D., Lawrence C.J., Lushbough C., Brendel V. (2008). PlantGDB: a resource for comparative plant genomics. *Nucleic Acids Research* 36(suppl 1):959-965.
- DZS, Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske (2021.a). Površina i proizvodnja žitarica i ostalih usjeva u 2020. Privremeni podaci.
- DZS, Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske (2021.b). Cijene u poljoprivredi u 2020. Priopćenje, Broj 1.1.4., Godina LVII, ISSN 1330-0350.
- DZS, Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske (2022.). Površina i proizvodnja žitarica i ostalih usjeva u 2022. Privremeni podaci.
- East E.M. (1910). A Mendelian interpretation of variation that is apparently continuous. *American Naturalist* 44:65-82.
- East E.M., Hayes H.K. (1911). Inheritance in maize. *Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin* 167:1-142.
- East E.M., Jones, D.F. (1920). Genetic studies on the protein content of maize. *Genetics* 5:543-610.
- Ellstrand N.C., Garner L.C., Hegde S., Guadagnuolo R., Blancas L. (2007). Spontaneous hybridization between maize and teosinte. *Journal of Heredity* 98(2):183-187.
- Emerson R.A., Beadle G.W. (1932). Studies of *Euchlaena* and its hybrids with *Zea*. II. Crossing-over between the chromosomes of *Euchlaena* and those of *Zea*. *Z. Abstammung Vererbungslehre* 62:305-315.

- Emerson R.A., East E.M. (1913). The inheritance of quantitative characters in maize. *Nebraska Agricultural Experiment Station Bulletin* 2:1-120.
- ENCODE Project Consortium (2012). An integrated encyclopedia of DNA elements in the human genome. *Nature* 489:57-74.
- Epstein E. (1972). Mineral nutrition in plants: Principles and perspective. J. Wiley and Sons, Inc.
- Eubanks M.W. (2001a). The mysterious origin of maize. *Economic Botany* 55(4):492-514.
- Eubanks M.W. (2001b). An interdisciplinary perspective on the origin of maize. *Latin American Antiquity* 12:91-98.
- Fan X.M., Chen H.M., Tan J., Xu C.X., Zhang Y.M., Huang Y.X., Kang M.S. (2008). A new maize heterotic pattern between temperate and tropical germplasms. *Agronomy Journal* 100(4):917-923.
- FAO (2010). The second report on the state of the world's plant genetic resources. FAO, Rome, Italy.
- FAOSTAT (2023). (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>,
<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>,
<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>)
- Fehr W.R. (1987). Principles of cultivar development. Volume 1, MacMillan Publishing Company.
- Finan J.J. (1948). Maize in the great herbals. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 35:149-165.
- Flannery K.V. (1986). Guilá Naquitz: Archaic foraging and early agriculture in Oaxaca, Mexico. Orlando: Academic Press.
- Fleischmann R. (1913). A rumai uradalom tengeri nemesítő eljárása. (Maize breeding method followed on the Ruma estate.) *Köztelek* 23:1694-1697.
- Fleischmann R. (1914). A rumai uradalom kukoricája. (The maize developed on the Ruma estate.) *Gazdasági Lapok* 66:345-346.
- Flint-Garcia S. (2013). Genetics and consequences of crop domestication. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61:8267-8276.
- Flint-Garcia S. (2017). Kernel evolution: from teosinte to maize. In: Larkins B.A. (ed.) *Maize kernel development*. CABI 2017, Oxfordshire, UK; Boston, Massachusetts.
- Franić M., Mazur M., Volenik M., Brkić J., Brkić A., Šimić D. (2015). Effect of plant density on agronomic traits and photosynthetic performance in the maize IBM population. *Poljoprivreda* 21(2):36-40.

- Franić M., Galić V., Mazur M., Šimić D. (2017). Effects of excess cadmium in soil on JIP-test parameters, hydrogen peroxide content and antioxidant activity in two maize inbreds and their hybrid. *Photosynthetica* 56(2):660-669.
- Franić M., Galić V. (2019). As, Cd, Cr, Cu, Hg: Physiological implications and toxicity in plants. In: Sablok G. (ed.) *Plant Metallomics and Functional Omics*. Springer, Cham.
- Fu Y., Emrich S.J., Guo L., Wen T., Ashlock D.A., Aluru S., Schnable P.S. (2005). Quality assessment of maize assembled genomicislands (MAGIs) and large-scale experimental verification of predicted genes. *PNAS* 102(34):12282-12287.
- Fukunaga K., Hill J., Vigouroux Y., Matsuoka Y., Sanchez G.J., Liu K., Buckler E.S., Doebley J. (2005). Genetic diversity and population structure of teosinte. *Genetics* 169:2241-2254.
- Galić V., Franić M., Jambrović A., Zdunić Z., Brkić A., Šimić D. (2017). QTL mapping for grain quality traits in testcrosses of a maize biparental population using genotyping-by-sequencing data. *Poljoprivreda* 23(1):28-33.
- Galić V., Šimić D., Franić M., Brkić A., Jambrović A., Brkić J., Ledenčan T. (2019a). Analysis of Fusarium ear rot and fumonisin contamination in testcrosses of maize biparental population. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 19:34-40.
- Galić V., Franić M., Jambrović A., Ledenčan T., Brkić A., Zdunić Z., Šimić D. (2019b). Genetic correlations between photosynthetic and yield performance in maize are different under two heat stress scenarios during flowering. *Frontiers in plant science* 10:566.
- Galić V., Mazur M., Brkić A., Brkić J., Jambrović A., Zdunić Z., Šimić D. (2020a). Seed weight as a covariate in association and prediction studies for biomass traits in maize seedlings. *Plants* 9(2):275.
- Galić V., Anđelković V., Kravić N., Grčić N., Ledenčan T., Jambrović A., Zdunić Z., Nicolas S., Charcosset A., Šatović Z., Šimić D. (2020b). First results on diversity patterns and selective sweeps in a Southeast European panel of maize inbred lines as combined with two West European panels. *bioRxiv*, doi: 10.1101/2020.11.24.376087.
- Galinat W.C. (1974). The domestication and genetic erosion of maize, *Economic Botany* 28:31-37.
- Galinat W.C. (1983). The origin of maize as shown by key morphological traits of its ancestor, teosinte. *Maydica* 28:121-138.
- Galinat W.C. (1985). The missing links between teosinte and maize: a review. *Maydica* 30:137-160.
- Galinat W.C. (1988). The origin of corn. In: Sprague G.F., Dudley J.W. (eds.) *Corn and Corn Improvement*, pp 1-31. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.

- Galinat W.C. (1992). Evolution of corn. *Advances in Agronomy*, Volume 47. Academic Press, Inc.
- Galinat W.C., Chaganti R.S.K., Hager F.D. (1964). *Tripsacum* as a possible amphidiploid of wild maize and *Manisuris*. *Botanical Museum Leaflets, Harvard University* 20:289-316.
- Gallavotti A., Zhao Q., Kyojuka J., Meeley R.B., Ritter M.K., Doebley J.F., Pè M.E., Schmidt R.J. (2004). The role of barren stalk1 in the architecture of maize. *Nature* 432:630-635.
- Ganal M., Durstewitz G., Polley A., Bérard A. Buckler E.S., Charcosset A., Clarke J.D., Graner E.M., Hansen M., Joets J., Le Paslier M.C., McMullen M.D., Montalent P., Rose M., Schön C.C., Sun Q., Walter H., Martin O.C., Falque M. (2011). A large maize (*Zea mays* L.) SNP genotyping array: development and germplasm genotyping, and genetic mapping to compare with the B73 reference genome. *PLoS One* 6(12):e28334
- García J. (2004). Los andenes y su microclima. In: Llerena C.A., Inbar M., Benavides M.A. (eds.) *Conservación y abandono de andenes*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú; Universidad de Haifa, Israel. Proyecto TA-MOU-C12-006, Programa US - Israel AID/CDR, Lima 2004.
- Gardner W.R. (1960). Dynamic aspects of water availability to plants. *Soil Science* 89(2):63-73.
- Gauthier P., Gouesnard B., Dallard J., Redaelli R., Rebourg C., Charcosset A., Boyat A. (2002). RFLP diversity and relationships among traditional European maize populations. *Theoretical and Applied Genetics* 105:91-99.
- Gay J.-P. (1999). *Maïs, mythe et réalités*. Atlantica, Biarritz.
- GENESYS (2021). Genesys Global Portal on Plant Genetic Resources. Accessed in October 2021. <https://www.genesys-pgr.org/c/maize>
- Gerić I., Zlokolica M., Gerić C., Stuber C.W. (1989). Races and populations of maize in Yugoslavia. Isozyme variation and genetic diversity. *Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Genepools 3*. International Board for Plant Genetic Resources, Rome.
- Gethi J.G., Labate, J.A., Lamkey, K.R., Smith, M.E., Kresovich S. (2002). SSR variation in important U.S. maize inbred lines. *Crop Science* 42:951-957.
- Gledhill D. (2002). *The names of plants*. Cambridge University Press, 3rd edition, 2002.
- Godshalk E.B., Kauffmann K.D. (1995) Performance of exotic × temperate single-cross maize hybrids. *Crop Science* 35:1042-1045.
- Goodman M.M. (1990). Genetic and germ plasm stocks worth conserving. *Journal of Heredity* 81(1):11-16.

- Goodman M.M. (1999). Broadening the genetic diversity in breeding by use of exotic germplasm. In: Coors J.G., Pandey S. (eds.) Genetics and exploitation of heterosis in crops. Crop Science Society of America, Madison, WI, pp 139-148.
- Goodman M.M. (2005). Broadening the U.S. maize germplasm base. *Maydica* 50:203-214.
- Goodman M.M., Bird R.McK. (1977). The races of maize IV: Tentative grouping of 219 Latin American races. *Economic Botany* 31:204-221.
- Goodman M.M., Brown W.L. (1988). Races of corn. In: Sprague G.F., Dudley J.W. (eds.) Corn and corn improvement. Third edition. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, pp 33-79.
- Goodstein D.M., Shu S., Howson R., Neupane R., Hayes, R.D., Fazo J., Mitros T., Dirks W., Hellsten U., Putnam N., Rokhsar D.S. (2012). Phytozome: a comparative platform for green plant genomics. *Nucleic Acids Research* 40(D1):1178-1186.
- Gotlin J. (1967.). Suvremena proizvodnja kukuruza. Posebno izdanje „Agronomskog glasnika“ 2, Zagreb.
- Gouesnard B., Negro S., Laffray A., Glaubitz J., Melchinger A., Revilla P., Moreno-Gonzalez J., Madur D., Combes V., Tollon-Cordet C., Laborde J., Kermarrec D., Bauland C., Moreau L., Charcosset A., Nicolas S. (2017). Genotyping-by-sequencing highlights original diversity patterns within a European collection of 1191 maize flint lines, as compared to the maize USDA genebank. *Theoretical and Applied Genetics* 130(10):2165-2189.
- Grant U.J., Hathaway W.H., Timothy D.H., Cassalet C., Roberts L.M. (1963). Races of maize in Venezuela. National Academy of Sciences-National Research Council, Publication 1136.
- Grassini P., Specht J.E., Tollenaar M., Ciampitti I., Cassman K.G. (2015). High-yield maize-soybean cropping systems in the US Corn Belt. In: Sadras V.O., Calderini D.F. (eds.) Crop physiology (Second Edition), Academic Press, 2015, pp 17-41.
- Green T.R., Kipka H., David O., McMaster G.S. (2018). Where is the USA Corn Belt, and how is it changing? *Science of The Total Environment* 618:1613-1618.
- Grobman A., Salhuana, W., Sevilla R. with P.C. Mangelsdorf (1961). Races of maize in Peru. National Academy of Sciences-National Research Council, Publication 915.
- Guinness World Records, GWR (1994). Longest corn cob.
(<https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/73751-longest-corn-cob>).
- Guinness World Records, GWR (2011). Tallest sweetcorn (maize) plant.
([https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/tallest-sweetcorn-\(maize\)-plant](https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/tallest-sweetcorn-(maize)-plant)).

- Guinness World Records GWR (2019). Most corn cobs on a single plant. (<https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/most-corn-cobs-on-a-single-plant>).
- Guinness World Records GWR (2021). Tallest sweetcorn (maize) plant. ([https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/tallest-sweetcorn-\(maize\)-plant](https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/tallest-sweetcorn-(maize)-plant)).
- Guzzon F.; Arandia Rios L.W. Caviedes Cepeda G.M., Céspedes Polo M., Chavez Cabrera A., Muriel Figueroa J., Medina Hoyos A.E., Jara Calvo T.W., Molnar T.L., Narro León L.A., Narro León T.P., Mejía Kerguelén S.L., Ospina Rojas J.G., Vázquez G., Preciado-Ortiz R.E., Zambrano J.L., Rojas N.P., Pixley K.V. (2021). Conservation and use of Latin American maize diversity: Pillar of nutrition security and cultural heritage of humanity. *Agronomy* 11(1):172.
- Haas J., Creamer W., Mesía L.H., Goldstein D., Reinhrad K., Rodríguez C.V. (2013). Evidence for maize (*Zea mays*) in the late archaic (3000-1800 B.C.) in the Norte Chico region of Peru. *PNAS* 110(13):4945-4949.
- Hadi G. (2004). Maize varieties grown in Eastern Central Europe between 1938 and 1983. *Acta Academica Hungarica* 52(4):421-438.
- Hadi G. (2005). Contribution of the breeding methods used by Rudolf Fleischmann to the development of the Ruma maize heterosis source. *Cereal Research Communications* 33(2-3):509-516.
- Hake S., Ross-Ibarra J. (2015). Genetic, evolutionary and plant breeding insights from the domestication of maize. *eLIFE* 4:e05861.
- Hallauer A.R., Miranda, J.B. (1988). Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA, pp 375-405.
- Hampl J.S., Hampl W.S. (1997). Pellagra and the origin of a myth: evidence from European literature and folklore. *Journal of the Royal Society of Medicine* 90:636-639.
- Hanway J.J. (1962). Corn growth and composition in relation to soil fertility: II. Uptake of N, P, and K and their distribution in different plant parts during the growing season. *Agronomy Journal* 54(3):217-222.
- Hanway J.J. (1963). Growth stages of corn (*Zea mays*, L.). *Agronomy Journal* 55(5):487-492.
- Hanway, J.J. (1966). How a corn plant develops. Cooperative Extension Service, Special Report No. 48, Iowa State University, Ames.
- Hard R.J., Roney J.R. (1998). A massive terraced village complex in Chihuahua, Mexico, 3000 years before present. *Science* 279:1661-1664.
- Hardeman N.P. (1981). Shucks, shocks, and hominy blocks: Corn as a way of life in pioneer America. Louisiana State University Press, Baton Rouge and London.

- Harlan J.R. (1975). *Crops and man*. Madison, WI: American Society of Agronomy.
- Harlan J.R., De Wet J.M.J. (1977). Pathways of genetic transfer from *Tripsacum* to *Zea mays*. *PNAS* 74: 3494-3497.
- Harlan J.R., De Wet J.M.J., Naik S.M., Lambert R.J. (1970). Chromosome pairing within genomes in maize-*Tripsacum* hybrids. *Science* 167:1247-1248.
- Harper L., Campbell J., Cannon E.K.S., Jung S., Poelchau M, Walls R., Andorf C., Arnaud E., Berardini T.Z., Birkett C., Cannon S., Carson J., Condon B., Cooper L., Dunn N., Elsik C.G., Farmer A., Ficklin S.P., Grant D., Grau E., Herndon N., Hu Z., Humann J., Jaiswal P., Jonquet C., Laporte M., Larmande P., Lazo G., McCarthy F., Menda N., Mungall C.J., Munoz-Torres M.C., Naithani S., Nelson R., Nesdill D., Park C., Reecy J., Reiser L., Sanderson L., Sen T.Z., Staton M., Subramaniam S., Tello-Ruiz M.K., Unda V., Unni D., Wang L., Ware D., Wegrzyn J., Williams J., Woodhouse M., Yu J., Main D. (2018). AgBioData consortium recommendations for sustainable genomics and genetics databases for agriculture. *Database* 1:1-32.
- Hart J.P., Matson R.G., Thompson R.G., Blake M. (2011). Teosinte inflorescence phytolith assemblages mirror *Zea* taxonomy. *PLoS ONE* 6 (3):e18349.
- Haryono (2013). Maize for food, feed and fuel in Indonesia: Challenges and opportunity. Proceeding of the International Maize Conference. 22-24 November 2012 in Gorontalo. Indonesian Ministry of Agriculture in collaboration with the Provincial Government of Gorontalo.
- Hatch M.D., Slack C.R. (1966). Photosynthesis by sugar-caneleaves. A new carboxylation reaction and the pathway of sugarformation. *Biochemical Journal* 101:103-111.
- Hathaway W.H. (1957). Races of maize in Cuba. National Academy of Sciences-National Research Council, Publication 453.
- Hayes H.K., East, E.M. (1911). Improvement in corn. *Conn. Agric. Exp. Stn. Bull.* 168:3-21.
- Henshilwood C., d'Errico F., Yates R., Jacobs Z., Tribolo C., Duller G.A.T., Mercier N., Sealy J.C., Valladas H., Watts I., Wintle A.G. (2002). Emergence of modern human behavior: Middle Stone Age engravings from South Africa. *Science* 295(5558):1278-80.
- Hershey A., Chase M. (1952). Independent functions of viral protein and nucleic acid in growth of bacteriophage. *Journal of General Physiology* 36(1):39-56.
- Hirsch C.N., Hirsch C.D., Brohammer A.B., Bowman M.J., Soifer I., Barad O., Shem-Tov D., Baruch K., Lu F., Hernandez A.G., Fields C.J., Wright C.L., Koehler K., Springer N.M., Buckler E., Buell C.R., de Leon N., Kaeppeler S.M., Childs K.L., Mikel M.A. (2016). Draft assembly of elite inbred line PH207 provides insights into genomic and transcriptome diversity in maize. *Plant Cell* 28:2700-2714.
- Ho P.T. (1955). The introduction of American food plants into China. *American Anthropologist* 57(1955):191-201.

- Holley R.N., Goodman M.M. (1988). Yield potential of tropical hybrid maize derivatives. *Crop Science* 28(2):213-218.
- Hopkins C.G., Smith L.H., East, E. M. (1903). The structure of the corn kernel and the composition of its different parts. *Illinois Agricultural Experiment Station Bulletin* 87:79-112.
- Hossain F., Muthusamy V., Bhat J.S., Jha S.K., Zunjare R., Das A., Sarika K., Kumar R. (2016). Maize. In: Singh M., Kumar S. (eds.) Broadening the genetic base of grain cereals. Springer India 2016, pp 67-88.
- Horowitz N.H., Berg P., Singer M., Lederberg J., Susman M., Doebley J., Crow J.F. (2004). A Centennial: George W. Beadle, 1903-1989. *Genetics* 166:1-10.
- Howe K.L., Contreras-Moreira B., De Silva N., Maslen G., Akanni W., Allen J., Alvarez-Jarreta J., Barba M., Bolser D.M., Cambell L, Carbajo M., Chakiachvili M., Christensen M., Cummins C., Cuzick A, Davis P., Fexova S., Gall A., George N., Gil L., Gupta P., Hammond-Kosack K.E., Haskell E., Hunt S.E., Jaiswal P., Janacek S.H., Kersey P.J., Langridge N., Maheswari U., Maurel T., McDowall M.D., Moore B., Muffato M., Naamati G., Naithani S., Olson A., Papatheodorou I., Patricio M., Paulini M., Pedro H., Perry E., Preece J., Rosello M., Russell M., Sitnik V., Staines D.M., Stein J., Tello-Ruiz M.K., Trevanion S.J., Urban M., Wei S., Ware D., Williams G., Yates A.D., Flicek P. (2019). Ensembl Genomes 2020-enabling non-vertebrate genomic research. *Nucleic Acids Research* 48(D1):689-695.
- Huang Y., Liu H., Xing Y. (2018). Next-generation sequencing promoted the release of reference genomes and discovered genome evolution in cereal crops. *Current Issues in Molecular Biology* 27:37-50.
- Hubbs C.L. (1943). Evolution the new synthesis. *American Naturalist* 77:365-368.
- Hudson J.C. (1994). Making the Corn Belt: A geographical history of Middle Western agriculture. Bloomington: Indiana University Press 1994.
- Hufford M.B. (2016). Comparative genomics provides insight into maize adaptation in temperate regions. *Genome Biology* (2016) 17:155.
- Hufford M.B., Bilinski P., Pyhäjärvi T., Ross-Ibarra J. (2012a) Teosinte as a model system for population and ecological genomics. *Trends in Genetics* 28(12):606-615.
- Hufford M.B., Xu X., van Heerwaarden J., Pyhäjärvi T., Chia J., Cartwright R.A., Elshire R.J., Glaubitz J.C., Guill K.E., Kaepler S.M., Lai J., Morrell P.L., Shannon L.M., Song C., Sprinher N.M., Swanson-Wagner R.A., Tiffin P., Wang J., Zhang G., Doebley J., McMullen M.D., Ware D., Buckler E.S., Yang S., Ross-Ibarra J. (2012b) Comparative population genomics of maize domestication and improvement. *Nature Genetics* 44, 808–811.
- Huma B., Hussain M., Ning C., Yuesuo Y. (2019). Human benefits from maize. *Scholar Journal of Applied Sciences and Research* 2(2):4-7.

- Hurt R.D. (2002). American agriculture: A brief history (rev. ed.). Purdue University Press, West Lafayette, Indiana, USA.
- Hübner J. (1796). Sammlung Europäischer Schmetterlinge. Pyralides. XIV, Sechste Horde 24, 14; XVIII, Sechste Horde 25, 15. Augsburg.
- IBPGR (1991). Descriptors for maize. International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City / International Board for Plant Genetic Resources, Rome.
- Iltis H.H. (1983). From teosinte to maize: The catastrophic sexual transmutation. *Science* 222 (4626):886-894.
- Iltis H.H. (2000). Homeotic sexual translocations and the origin of maize *Zea mays*, Poaceae: A new look at an old problem. *Economic Botany* 54(I):7-42.
- Iltis H.H. (2006). Origin of polystichy in maize. In: Staller J.E., Tykot R.H., Benz B.F. (eds.) Histories of maize: Multidisciplinary approaches to the prehistory, biogeography, domestication, and evolution of maize. Routledge, New York 2016. Taylor & Francis 2009, pp 21-53.
- Iltis H.H., Doebley J.F. (1980). Taxonomy of *Zea* (Gramineae) II. Sub-specific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis. *American Journal of Botany* 67:994-1004.
- Iltis H.H., Benz B.F. (2000). *Zea nicaraguensis* (Poaceae), a New teosinte from Pacific Coastal Nicaragua. *Novon A Journal for Botanical Nomenclature* 10(4):382-390.
- Ioannidis J.P.A., Klavans R., Boyack K.W. (2016). Multiple citation indicators and their composite across scientific disciplines. *PLOS Biology* 14(8):e1002548.
- ICGA, Iowa Corn Growers Association (2018). (<https://www.iowacorn.org/corn-uses/>).
- IPK (2014). Scientific Report 2012/2013. Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK), Gatersleben, pp. 225.
- Ivezić M., Tollefson J.J., Raspudić E., Brkić I., Brmež M., Hibbard B.E. (2006) Evaluation of corn hybrids for tolerance to corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) larval feeding. *Cereal Research Communications* 34:1101-1107.
- Ivezić M., Raspudić E., Brmež M., Majić I., Brkić I., Tollefson J.J., Bohn M., Hibbard B.E., Šimić D. (2009). A review on resistance breeding options targeting western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) in Europe. *Agricultural and Forest Entomology* 11:307-311.
- Ivezić M., Raspudić E., Majić I., Tollefson J.J., Brmež M., Sarajlić A., Brkić A. (2011). Root compensation of seven maize hybrids due to western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) larval injury. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 17(1):107-115.

- Jaenicke-Després V., Buckler E.S., Smith B.D., Gilbert M.T.P., Cooper A., Doebley J., Pääbo S. (2003). Early allelic selection in maize as revealed by ancient DNA. *Science* 302(5648):1206-1208.
- Jaenicke-Després V.R., Smith B.D. (2006). Ancient DNA and the integration of archaeological and genetic approaches to the study of maize domestication. In: Staller J.E., Tykot R.H., Benz B.F. (eds.) *Histories of maize: Multidisciplinary approaches to the prehistory, biogeography, domestication, and evolution of maize*. Routledge, New York 2016. Taylor & Francis 2009, pp 83-95.
- Jambrović A. (2001). Različitost i broj lokacija za testiranje hibrida kukuruza. Doktorska disertacija, Poljoprivredni institut Osijek, Osijek, 2001.
- Jambrović A., Šimić D., Ledenčan T., Zdunić Z., Brkić I. (2008). Genetic diversity among maize (*Zea mays* L.) inbred lines in Eastern Croatia. *Periodicum Biologorum* 110(3):251-255.
- Jambrović A., Mazur M., Radan Z., Zdunić Z., Ledenčan T., Brkić A., Brkić J., Brkić I., Šimić D. (2014). Array-based genotyping and genetic dissimilarity analysis of a set of maize inbred lines belonging to different heterotiv groups. *Genetika* 46(2):343-352.
- Janick J., Caneva G. (2005). The first images of maize in Europe. *Maydica* 50:71-80.
- Janusek J.W., Kolata A.L. (2004). Top-down or bottom-up: rural settlement and raised field agriculture in the Lake Titicaca Basin, Bolivia. *Journal of Anthropological Archaeology* 23:404-430.
- Jägermeyr J., Müller C., Ruane A.C., Elliott J., Balkovic J., Castillo O., Faye B., Foster I., Folberth C., Franke J.A., Fuchs K., Guarin J.R., Heinke J., Hoogenboom G., Iizumi T., Jain A.K., Kelly D., Khabarov N., Lange S., Lin T., Liu W., Mialyk O., Minoli S., Moyer E.J., Okada M., Phillips M., Porter C., Rabin S.S., Scheer C., Schneider J.M., Schyns J.F., Skalsky R., Smerald A., Stella T., Stephens H., Webber H., Zabel F., Rosenzweig C. (2021). Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models. *Nature Food* 2:873–885.
- Jeffreys M.D.W. (1963). How ancient is West African maize? *Africa* 33(2):115-131.
- Jeffreys M.D.W. (1967). Pre-Columbian maize in Southern Africa. *Nature* 215: 695-697.
- Jenkins M.T. (1936). Corn improvement. In: *Yearbook of Agriculture*. U.S. Dept. Agric., U.S. Govt. Print Office, Washington, DC, pp 455-522.
- Johannsen W. (2014). The genotype conception of heredity. 1911. *International Journal of Epidemiology* 43(4):989-1000.
- Johnson I.J. (1957). The role of the experiment stations in basic research relating to corn breeding. In: Heckendorn W., Blankenship Jr. B.H. (eds.) *Twelfth hybrid corn industry research conference*. 4 Dec. and 5 Dec. LaSalle Hotel Chicago, IL. Am. Seed Trade Assoc. Washington, DC, pp 31-36.

- Jones C.A., Dyke P.T., Williams J.R., Kiniry J.R., Benson V.W., Griggs R.H. (1991). EPIC: an operational model forevaluation of agricultural sustainability. *Agricultural Systems* 37(4):341-350.
- Jones D.F. (1917). Increasing the yield of corn by crossing. Connecticut State Station Annual Report 1915/16, 323-347.
- Jones D.F. (1918). The effects of inbreeding and cross-breeding upon development. *Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin* 207:5-100.
- Kandel B.P. (2020). Status, prospect and problems of hybrid maize (*Zea mays*L.) in Nepal: a brief review. *Genetic Resources and Crop Evolution* 68(1):1-10.
- Kasryno F. (2002). Perkembangan Produksi dan Konsumsi Jagung Dunia Selama Empat Dekade Yang Lalu dan Implikasinya Bagi Indonesia. (The progress of world maize production and consumption for the last four decades, and its implication to Indonesia). Presented at a one day seminar on Maize Agribusiness. Bogor, 24 June 2002. AARD.
- Kass L.B., Bonneuil C., Coe E.H.Jr. (2005). Cornfests, cornfabs and cooperation: The origins and beginnings of the Maize Genetics Cooperation News Letter. *Genetics* 169(4):1787-1797.
- Katiyar S.K., Sachan J.K.S. (1992). Scanning electron microscopic studies of pollen grains in the tribe Maydeae. *Maize Genetics Cooperation Newsletter* 66:91-92.
- Kato Y.T.A. (1984). Chromosome morphology and the origin of maize and its races. *Evolutionary Biology* 17:219-253.
- Kaufman T.S., Norman W.M. (1985). An outline of Proto-Cholan phonology and vocabulary. In: Justeson J.S., Campbell L. (eds.) *Phoneticism in Maya hieroglyphic writing*. Institute for Mesoamerican Studies S.U.N.Y. Publication #9. Albany: SUNY Press. pp. 77-166.
- Keating B.A., Carberry P.S., Hammer G.L., Probert M.E., Robertson M.J., Holzworth D., Huth N.I., Hargreaves J.N.G., Meinke H., Hochman Z., McLean G., Verburg K., Snow V., Dimes J.P., Silburn M., Wang E., Brown S., Bristow K.L., Asseng S., Chapman S., McCown R.L., Freebairn D.M., Smith C.J. (2003). An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy* 18:267-288.
- Keeley J.E., Rundel P.W. (2003). Evolution of CAM and C4 carbon-concentrating mechanisms. *International Journal of Plant Sciences* 164(3 Suppl.):55-77.
- Kennett D.J., Thakar H.B., VanDerwarker A.M., Webster D.L., Culleton B.J., Harper T.K., Kistler L., Scheffler T.E., Hirth K. (2017). High-precision chronology for Central American maize diversification from El Gigante rockshelter, Honduras. *PNAS* 114(34):9026-9031.
- Kennett D.J., Prufer K.M., Culleton B.J., George R.J., Robinson M., Trask W.R., Buckley G.M., Moes E., Kate E.J., Harper T.K., O'Donnell L., Ray E.E., Hill E.C., Alsgaard

- A., Merriman C., Meredith C., Edgar H.J.H., Awe J.J., Gutierrez S.M. (2020). Early isotopic evidence for maize as a staple grain in the Americas. *Science Advances* 6(23):eaba3245.
- Kimball R.F. (1943). The great biological generalization. *Quarterly Review of Biology* 18:364-367.
- Kistler L., Maezumi S.Y., de Souza J.G., Przelomska N.A.S., Costa M.F., Smith O., Loiselle H., Ramos-Madrigal J., Wales N., Ribeiro E.R., Morrison R.R., Grimaldo C., Prous A.P., Arriaza B., Gilbert M.T.P., Freitas F.O., Allaby R.G. (2018). Multiproxy evidence highlights a complex evolutionary legacy of maize in South America. *Science* 362(6420):1309-1313.
- Kistler L., Thakar H.B., VanDerwarker A.M., Domic A., Bergström A., George R.J., Harper T.K., Allaby R.G., Hirth K., Kennett D.J. (2020). Archaeological Central American maize genomes suggest ancient gene flow from South America. *PNAS* 117(52):33124-33129.
- Klümper W., Qaim M. (2014). A meta-analysis of the impacts of genetically modified crops. *PLoS ONE* 9(11):e111629.
- Kovačević V., Brkić I., Šimić D., Šimić B. (2002). Response of corn (*Zea mays* L.) inbred lines to stress and potassium fertilization on K-fixing soil. *Poljoprivreda* 8(1), 1-5.
- Kovačević V., Šimić D., Brkić I. (2006). Response of maize genotypes to soil stress on strong K-fixing soils. *Lucrări Științifice, Seria Agronomie, Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară Iași* 49(1):204-120.
- Kozumplik V., Martinić-Jerčić Z. (2000). Breeding field crops and vegetables in Croatia. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 65(2):129-141.
- Kölle S.W. (1963). *Polyglotta Africana*. In: Hair P.E.H., Dalby D. (eds.) Graz, Austria: Akademische Druk-U., 1963.
- Kuleshov N.N. (1933). World's diversity of phenotypes of maize. *Journal of American Society of Agronomy* 25:688-700.
- Kurtz B., Gardner C.A.C., Millard M.J., Nickson T., Smith J.S.C. (2016). Global access to maize germplasm provided by the US National Plant Germplasm System and by US plant breeders. *Crop Science* 56:931-941.
- Labate J.A., Lamkey, K.R., Mitchell S.E., Kresovich S., Sullivan H., Smith J.S.C. (2003). Molecular and historical aspects of corn belt diversity. *Crop Science* 43:80-91.
- Lampe J.R., Prickett R.O., Adamović L.J.S. (1990). Yugoslav-American economic relations since World War II. Duke University Press.
- Lancashire P.D., Bleiholder H., Langelüddecke P., Stauss R., Van den Boom T., Weber E., Witzten-Berger A. (1991). A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology* 119:561-601.

- Landon A.J. (2008). The "how" of the Three Sisters: The origins of agriculture in Mesoamerica and the human niche. *Nebraska Anthropologist* 40:110-124.
- Lang Z., Wills D.M., Lemmon Z.H., Shannon L.M., Bukowski R., Wu Y., Messing J., Doebley J.F. (2014). Defining the role of prolamins-box binding factor1 gene during maize domestication. *Journal of Heredity* 105(4):576-582.
- Lange E.S., Balmer D., Mauch-Mani B., Turlings T.C.J. (2014). Insect and pathogen attack and resistance in maize and its wild ancestors, the teosintes. *New Phytologist* 204:329-341.
- Larivière V., Hausteine S., Mongeon P. (2015). The oligopoly of academic Publishers in the digital era. *PLoS ONE* 10(6):e0127502.
- Larson G., Piperno D.R., Allaby R.G., Purugganan M.D., Andersson L., Arroyo-Kalin M., Barton L., Climer Vigueira C., Denham T., Dobney K., Doust A.N., Gepts P., Gilbert M.T.P., Gremillion K.J., Lucas L., Lukens L., Marshall F.B., Olsen K.M., Pires J.C., Richerson P.J., de Casas R.R., Sanjur O.I., Thomas M.G., Dorian Q. Fuller D.Q. (2014). Current perspectives and the future of domestication studies. *PNAS* 111(17): 6139-6146.
- Las Casas B. de (1971) [1527-1565] History of the Indies, Translated and edited by A. Collard. Harper and Row, New York.
- Lawrence C.J., Ware D. (2009). Databases and Data Mining. In: Bennetzen J.L., Hake S. (eds.) Handbook of Maize: Genetics and Genomics. Springer, New York, NY.
- LeConte, J.L. (1868) New Coleoptera collected on the survey for the extension of the Union Pacific Railway, E.D. from Kansas to Fort Craig, New Mexico. *Transactions of the American Entomological Society* 2:49-59.
- Ledenčan T. (2002). Otpornost linija i hibrida kukuruza na fuzarijsku trulež stabljike. Doktorska disertacija, Poljoprivredni institut Osijek, Osijek, 2002.
- Ledenčan T., Šimić D., Brkić I., Jambrović A., Zdunić Z. (2003). Resistance of maize inbreds and their hybrids to Fusarium stalk rot. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* 39(1):15-20.
- Ledenčan T., Sudar R., Šimić D., Zdunić Z., Brkić A. (2008a). Sweet corn resistance to the ear rots caused by Fusarium graminearum and F. verticillioides. *Cereal Research Communications* 36, Suppl. 6:119-120.
- Ledenčan T., Sudar R., Šimić D., Zdunić Z., Brkić A. (2008b). Effects of the agroecological factors on sweet corn quality. *Cereal Research Communications* 36, Suppl. 5(3): 1411-1414.
- Lee M. (1995). DNA markers and plant breeding programs. *Advances in Agronomy* 35:265-344.
- Leffingwell R. (2004). John Deere: A History of the Tractor. Motorbooks International/MBI Publishing Company, St. Paul, MN, USA.

- Lemmon Z.H., Doebley J.F. (2014). Genetic dissection of a genomic region with pleiotropic effects on domestication traits in maize reveals multiple linked QTL. *Genetics* 198:345–353.
- Leng E., Tavcar R.A., Trifunovic V. (1962). Maize of southeastern Europe and its potential value in breeding programs elsewhere. *Euphytica* 11: 263-272.
- Lepeduš H., Brkić I., Cesar V., Jurković V., Antunović J., Jambrović A., Brkić J., Šimić D. (2012). Chlorophyll fluorescence analysis of photosynthetic performance in seven maize inbred lines under water-limited conditions. *Periodicum Biologorum* 114(1):73-76.
- Levi G. (2014). The diffusion of maize in Italy: From resistance to the peasant's defeat. In: Aram B., Yun-Casalilla B. (eds.) *Global goods and the Spanish Empire, 1492-1824: Circulation, resistance and diversity*. Palgrave Macmillan, Macmillan Publishers Limited, UK.
- Lewis R.S., Goodman M.M. (2003). Incorporation of tropical maize germplasm into inbred lines derived from temperate × temperate-adapted tropical line crosses: agronomic and molecular assessment. *Theoretical and Applied Genetics* 107:798-805.
- Li J. (2009). Production, breeding and process of maize in China. In: Bennetzen J.L., Hake S.C. (eds.) *Handbook of Maize: Its Biology*. Springer, New York, NY.
- Li K., Pan J., Xiong W., Xie W., Ali T. (2022). The impact of 1.5 °C and 2.0 °C global warming on global maize production and trade. *Scientific Reports* 12:17268 (2022).
- Li P., Feng Z., Jiang L., Liao C., Zhang J. (2014). A review of swidden agriculture in Southeast Asia. *Remote Sensing* 6:1654-1683.
- Libby W.F., Anderson E.C., Arnold J.R. (1949). Age determination by radiocarbon content: World-wide assay of natural radiocarbon. *Science* 109 (2827):227-228.
- Lin Z., Li X., Shannon L.M., Yeh C., Wang M.L., Bai G., Peng Z., Li J., Trick H.N., Clemente T.E., Doebley J., Schnable P.S., Tuinstra M.R., Tesso T.T., White F., Yu J. (2012). Parallel domestication of the *Shattering1* genes in cereals. *Nature Genetics* 44:720-724.
- Liu H., Jian L., Xu J., Zhang Q., Zhang M., Jin M., Peng Y., Yan J., Han B., Liu J., Gao F., Liu X., Huang L., Wei W., Ding Y., Yang X., Li Z., Zhang M., Sun J., Bai M., Song W., Chen H., Sun X., Li W., Lu Y., Liu Y., Zhao J., Qian Y., Jackson D., Fernie A.R., Yan J. (2020). High-throughput CRISPR/Cas9 mutagenesis streamlines trait gene identification in maize. *The Plant Cell* 32:1397-1413.
- Liu J., Fernie A.R., Yan J. (2020). The past, present, and future of maize improvement: Domestication, genomics, and functional genomic routes toward crop enhancement. *Plant Communications* 1(1):1-19.

- Liu U., Breman E., Cossu T.A., Kenney S. (2018). The conservation value of germplasm stored at the Millennium Seed Bank, Royal Botanic Gardens, Kew, UK. *Biodiversity and Conservation* 27:1347-1386.
- Lizaso J.I., Boote K.J., Jones J.W., Porter C.H., Echarte L., Westgate M.E., Sonohat G. (2011). CSM-IXIM: A new maize simulation model for DSSAT version 4.5. *Agronomy Journal* 103:766-779.
- Llamas B., Fehren-Schmitz L., Valverde G., Soubrier J., Mallick S., Rohland N., Nordenfelt S., Valdiosera C., Richards S.M., Rohrlach A., Barreto Romero M.I., Flores Espinoza I., Tomasto Cagigao E., Watson Jiménez L., Makowski K., LeBoreiro Reyna I.S., Mansilla Lory J., Ballivián Torrez J.A., Rivera M.A., Burger R.L., Ceruti M.C., Reinhard J., R.S. Wells, Politis G., Santoro C.M., Standen V.G., Smith C., Reich D., Ho S.Y.W., Cooper A., Haak W. (2016). Ancient mitochondrial DNA provides high-resolution time scale of the peopling of the Americas. *Science Advances* 2(4):e1501385-e1501385.
- Long A., Benz B.F., Donahue D.J., Tull A.J.T., Toolin L.J. (1989). First direct AMS dates on early maize from Tehuacán, Mexico. *Radiocarbon* 31(3):1035-1040.
- Lorant A., Ross-Ibarra J., Tenaillon M. (2020). Genomics of long- and short-term adaptation in maize. In: Dutheil J.Y. (ed.) *Statistical population genomics, Methods in molecular biology 2090*, Springer US.
- Lu H., Bernardo R. (2001). Molecular marker diversity among current and historical maize inbreds. *Theoretical and Applied Genetics* 103:613-617.
- Lu Y., Yan J., Guimaraes C.T., Taba S., Hao Z., Gao S., Chen, S., Li, J., Zhang, S., Vivek, B.S., Magorokosho, C., Mugo, S., Makumbi, D., Parentoni, S.N., Shah, T., Rong, T., Crouch, J.H., Xu, Y. (2009). Molecular characterization of global maize breeding germplasm based on genome-wide single nucleotide polymorphisms. *Theoretical and Applied Genetics* 120(1):93-115.
- MacNeish R.S., Eubanks M.W. (2000). Comparative analysis of the Río Balsas and Tehuacán models for the origin of maize. *Latin American Antiquity* 11(1):3-20.
- MacNeish R.S., Nelken-Terner A., Johnson I.W. (eds.) (1967). *The prehistory of the Tehuacán valley. Vol. 2: Nonceramic artifacts*. Austin: University of Texas Press.
- MacNeish R.S., Fowler M.L., Cook A.G., Peterson F.A., Nelken-Terner A., Neely J.A. (1972). *The prehistory of the Tehuacán valley. Vol. 5: Excavations and reconnaissance*. Austin: University of Texas Press.
- Malenica N., Antunović Dunić J., Vukadinović L., Cesar V., Šimić D. (2021). Genetic approaches to enhance multiple stress tolerance in maize. *Genes* 12:1760.
- Malosetti M., Bustos-Korts D., Boer M.P., van Eeuwijk F.A. (2016). Predicting responses in multiple environments: Issues in relation to genotype × environment interactions. *Crop Science* 56:2210–2222.

- Mangelsdorf P.C. (1958). Ancestor of corn. *Science* 128: 1313-1320.
- Mangelsdorf P.C. (1961). Introgression in maize . *Euphytica* 10 : 157-168 .
- Mangelsdorf P.C. (1974). Corn, its origin, evolution, and improvement. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Mangelsdorf P.C. (1983). The Mystery of Corn: New Perspectives. *Proceedings of the American Philosophical Society* 127(4): 215-247.
- Mangelsdorf P.C., Reeves R.G. (1938). The origin of maize. *PNAS* 24:303-312.
- Mangelsdorf P.C., Reeves R.G. (1939). The Origin of Indian Corn and Its Relatives. Texas *Agricultural Experiment Station Bulletin* 574, College Station, TX.
- Mangelsdorf, P.C., Smith C.E. (1949). New archaeological evidence on evolution in maize. *Botanical Museum Leaflets Harvard University* 13:213-247.
- Mangelsdorf P.C., Galinat W.C. (1964). The *tunicate* locus in maize dissected and reconstituted. *PNAS* 51: 147-150.
- Mangelsdorf P.C., MacNeish R.S., Galinat W.C. (1964). Domestication of corn. *Science* 143: 538-545.
- Mangelsdorf P.C., MacNeish R.S., Galinat W.C. (1967). Prehistoric wild and cultivated maize. In: Byers D.S. (ed.) *The prehistory of the Tehuacán valley, vol 1, Environment and Subsistence*. University of Texas Press, Austin, pp 178-200.
- Mann C.C. (2005). *1491: New revelations of the Americas before Columbus*. Vintage Books, A Division of Random House, Inc., New York.
- Mann C.C. (2018). *The wizard and the prophet*. Alfred A. Knopf, New York.
- Marković M., Josipović M., Šoštarić J., Jambrović A., Brkić A. (2017). Response of maize (*Zea mays* L.) grain yield and yield components to irrigation and nitrogen fertilization. *Journal of Central European Agriculture* 18(1):55-72.
- Marshall D.R. (1989). Limitations to the use of germplasm collections. In: Brown A.D.H., Frankel O.H., Marshall D.R., Williams J.T. (eds.) *The use of plant genetic resources* Cambridge: University Press, 1989. pp. 105-120.
- Martínez-Ainsworth N.E., Tenailon M.I. (2016). Superheroes and masterminds of plant domestication. *Comptes Rendus Biologies* 339:268-273.
- Martínez-Soriano J.P.R., Aviña-Padilla K. (2009). Ustilago and the accidental domestications of maize. *Journal of Cereal Science* 50:302-303.
- Matsuoka Y., Vigoroux Y., Goodman M.M., Sanchez G.J., Buckler E., Doebley J. (2002). A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *PNAS* 99(9): 6080-6084.

- Mazur M., Vila S., Brkić I., Jambrović A., Šimić D. (2019). The development of homozygous maize lines using an in vivo haploid induction in the Croatian germplasm. *Poljoprivreda* 25(1):19-25.
- MBS Inc. (1999). MBS, Inc. genetics handbook, 26th edn. MBS, Inc., Ames, Iowa, USA.
- McCann J.C. (2001). Maize and grace: History, corn, and Africa's new landscapes, 1500-1999. *Comparative Studies in Society and History* 43(2):246-272.
- McCann J.C. (2005). Maize and grace. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, and London, England, 2005.
- McClintock B. (1959). Chromosome constitutions of Mexican and Guatemalan races of maize. *Annual Report of the Department of Genetics at Carnegie Institution Washington* 59:461-472.
- Melitz J., Toubal F. (2014). Native language, spoken language, translation and foreign trade. *Journal of International Economics* 93:351–363.
- Mendel J.G. (1865). Versuche über Pflanzenhybriden. In: Verhandlungen des Naturforschenden Vereins Brünn. Band 4, 1865, S. 3-47.
- Mertz O., Padoch C., Fox J., Cramb R.A., Leisz S. J., Nguyen T. L., Vien T.D. (2009). Swidden change in Southeast Asia: understanding causes and consequences. *Human Ecology* 37:259-264.
- Mesić P. (2018.). Iz rada povjerenstva za jezik. *Glasiilo biljne zaštite* 18(6):598-605.
- Messedaglia L. (1924). Notizie storiche sul mais. Quaderno mensile N° 7. Sez. Credito Agrario Istituto Federale Credito pel Risorgimento delle Venezie, Verona, Italy.
- Metcalf R.L. (1986). Foreword, pp. vi-xi. In: Krysan T.A., Miller T.A. (eds.) Methods for the study of pest *Diabrotica*. Springer, New York.
- Mikel M.A. (2006). Availability and Analysis of Proprietary Dent Corn Inbred Lines with Expired U.S. Plant Variety Protection. *Crop Science* 46:2555-2560.
- Mikel M.A. (2008). Genetic diversity and improvement of contemporary proprietary North American dent corn. *Crop Science* 48:1686–1695 (2008).
- Mikel M.A. (2011). Genetic composition of contemporary U.S. commercial dent corn germplasm. *Crop Science* 51(2), 592-599.
- Mikel M.A., Dudley J.W. (2006). Evolution of North American dent corn from public to proprietary germplasm. *Crop Science* 46:1193-1205.
- Miller M., Flores B. (1993). Indian Corn of the Americas. Ten Speed Press (Celestial Arts), Berkeley, California, USA.
- Millet E., Welcker C., Kruijer W., Negro S., Nicolas S., Praud S., Ranc N., Presterl T., Tuberosa R., Bedo Z., Draye X., Usadel B., Charcosset A., van Eeuwijk, Tardieu F.,

- CoupeL-Ledru A., Bauland C. (2016). Genome-wide analysis of yield in Europe: allelic effects as functions of drought and heat scenarios. *Plant Physiology* 172(2):749-764.
- Millet E., Kruijjer W., CoupeL-Ledru A., Alvarez Prado S., Cabrera-Bosquet L., Lacube S., Charcosset A., Welcker C., van Eeuwijk F., Tardieu F. (2019). Genomic prediction of maize yield across European environmental conditions. *Nature Genetics* 51:952-956.
- Mir C., Zerjal T., Combes V., Dumas F., Madur D., Bedoya C., Dreisigacker S., Franco J., Grudloya P., Hao P.X., Hearne S., Jampatong C., Laloë D., Muthamia Z., Nguyen T., Prasanna B.M., Taba S., Xie C.X., Yunus M., Zhang S., Warburton M.L., Charcosset A. (2013). Out of America: tracing the genetic footprints of the global diffusion of maize. *Theoretical and Applied Genetics* 126(11):2671-2682.
- Miracle M.P. (1965). The introduction and spread of maize in Africa. *The Journal of African History* 6(1): 39-55.
- Mladenović-Drinić S., Anđelković V., Ignjatović-Mićić D. (2012). Genetic diversity of maize landraces as sources of favorable traits. In: Çalışkan M. (ed.) *The molecular basis of plant genetic diversity*. Intech Open.
- Montgomery E.G. (1916). *The corn crops: A discussion of maize, kafirs, and sorghums as grown in the United States and Canada*. The Macmillan Co., New York.
- Morgan T.H., Sturtevant A.H., Muller H J., Bridges, C.B. (1915). *The Mechanism of Mendelian Heredity* (Henry Holt & Co., New York, 1915).
- Morrow G.E., Hunt T.F. (1889). Field experiments with corn, 1888. *Illinois AES Bulletin* 4:48-67.
- Morrow G.E., Gardner F.D. (1893). Field experiments with corn, 1892. *Illinois AES Bulletin* 25:179-180.
- Munkacsı A.B., Stoxen S., May G. (2008). Ustilago maydis populations tracked maize through domestication and cultivation in the Americas. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 275:1037-1046.
- Nannas N.J., Dawe R.K. (2015). Genetic and genomic toolbox of Zea mays. *Genetics* 199:655-669.
- NASA, Visible Earth, Global Maize 2000,
https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/47000/47250/global_maize_2000_lrg.png.
- Nass L.L., Paterniani E. (2000). Pre-breeding: A link between genetic resources and maize breeding. *Scientia Agricola* 57(3):581-587.

- Nawaschin S. (1898). Resultate einer Revision der Befruchtungsvorgänge bei *Lilium martagon* und *Fritillaria tenella*. *Bulletin de l'Académie Impériale Des Sciences de St. Pétersbourg Series 5*(9):377-382.
- NCGA, National Corn Growers Association (2020). World of corn 2020.; www.ncga.com; www.worldofcorn.com.
- Nelson D.E., Korteling R.G., Stott W.R. (1977). Carbon-14: direct detection at natural concentrations. *Science* 198 (4316):507-508.
- Nelson P.T., Coles N.D., Holland J.B., Bubeck D.M., Smith S., Goodman M.M. (2008). Molecular characterization of maize inbreds with expired US plant variety protection. *Crop Science* 48(5):1673-1685.
- Neuffer M.G., Jones L., Zuber M.S. (1968). The mutants of maize. Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Neuffer M.G., Coe E., Wessler S. (1997). Mutants of maize. Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1997.
- Nigh R. (1976). Evolutionary ecology of Maya agriculture in highland Chipas, Mexico. PhD dissertation, Stanford University. Ann Arbor: University microfims.
- Nordic Genetic Resource Center – NordGen (2019). Svalbard Global Seed Vault: Annual Progress Report 2019. Nordic Genetic Resource Center 2019.
- O'Connor C., Miko I. (2008). Developing the chromosome theory. *Nature Education* 1(1):44.
- Ojiem J., Franke A., Vanlauwe B., de Ridder N., Giller K.E. (2014). Benefits of legume-maize rotations: Assessing the impact of diversity on the productivity of smallholders in Western Kenya. *Field Crops Research* 168:75-85.
- Olson R.A., Sander D.H. (1988). Corn production. In: Sprague G.F., Dudley J.W. (eds.) *Corn and corn improvement*, Third Edition, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Oppermann M., Weise S., Dittman C., Knüpfper H. (2015). GBIS: the information system of the German Genebank. *Database*, 2015, 1-8.
- Osaki M. (1995). Comparison of productivity between tropical and temperate maize. *Soil Science and Plant Nutrition* 41 (3), 451-459.
- Osborne C.P., Sack L. (2012). Evolution of C₄ plants: a new hypothesis for an interaction of CO₂ and water relations mediated by plant hydraulics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 367:583-600.
- Paterniani, E., and M.M. Goodman (1977). Races of maize in Brazil and oadjacent areas. CIMMYT.

- Pavličić J. (1971). Contribution to a preliminary classification of European open-pollinated maize varieties. Proceedings of the Fifth Meeting Maize Sorghum Section EUCARPIA, pp 93-107.
- Pavličić J., Trifunović V. (1966). A study of some important ecologic corn types grown in Yugoslavia and their classification. *Journal for Scientific Agricultural Research* 19:44-62.
- Pearsall D.M. (2015). Early agriculture in the Americas. In: Barker G., Goucher C. (eds.) *The Cambridge World History*. Cambridge University Press. pp 514-538.
- Pellegrino E., Bedini S., Nuti M., Ercoli L. (2018). Impact of genetically engineered maize on agronomic, environmental and toxicological traits: a meta-analysis of 21 years of field data. *Scientific Reports* 8:3113.
- Pennisi E. (2012). ENCODE Project writes eulogy for junk DNA. *Science* 337:1159-1161.
- Peterson P. (1999). The maize pedigree tree. In: Peterson P., Bianchi A. (eds.). *Maize Genetics and Breeding in the 20th Century*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore.
- Philip J.R. (1957). The physical principles of soil water movement during the irrigation cycle. *Proceedings of the 3rd Congress International Communications Irrigation Drainage* 8: 125-154.
- Pinker S. (2018). *Enlightenment now: The case for reason, science, humanism, and progress*. Viking, An imprint of Penguin Random House LLC, New York.
- Piperno D.R. (2001). On Maize and the Sunflower. *Science* 292(5525):2260-2261.
- Piperno D.R. (2006). *Phytoliths: A comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists*. Walnut Creek, CA: AltaMira Press.
- Piperno D.R., Flannery K.V. (2001). The earliest archaeological maize (*Zea mays* L.) from highland Mexico – New accelerator mass spectrometry dates and their implications. *PNAS* 98(4): 2101-2103.
- Piperno D.R., Ranere A.J., Holst I., Iriarte J., Dickau R. (2009). Starch grain and phytolith evidence for early ninth millenium B. P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico. *PNAS* 106(13): 5019-5024.
- Poehlman J.M., Sleper D.A. (1995). *Breeding field crops*, Fourth Edition. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- Pohl M.E.D., Piperno D.R., Pope K.O., Jones J.G. (2007). Microfossil evidence for pre-Columbian maize dispersals in the neotropics from San Andrés, Tabasco, Mexico. *PNAS* 104(16):6870-6875.
- Pollan M. (2001). *The botany of desire: A plant's-eye view of the world*. New York: Random House.

- Pollan M. (2006). *The omnivore's dilemma: A natural history of four meals*. New York: The Penguin Press.
- Pope K., Pohl M., Jones J., Lentz D., von Nagy C., Vega F., Quitmyer I. (2001). Origin and environmental setting of ancient agriculture in the lowlands of Mesoamerica. *Science* 292:1370-1373.
- Pospišil A., Pospišil M. (2013.). *Ratarstvo – praktikum*. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, 2013.
- Radić Đ. (1872.). *Sve o kukuruзу*. Društvo za poljsku privredu, Beograd.
- Radić LJ. (1986.). *Kukuruz u Slavoniji i Baranji, Knjiga I*. Poljoprivredni institut Osijek.
- Radović G. (1985). Maize genetic resources in Yugoslavia. *Zea* 2:26-28.
- Ramirez R., Timothy D.H., Diaz E.B., Grant U.J., with Calle G.E.N., Anderson E., Brown W.L. (1960). Races of maize in Bolivia. *NAS-NRC Publication* 747.
- Ramos-Madrigal J., Smith B.D., Moreno-Mayar J.V., Gopalakrishnan S., Ross-Ibarra J., Gilbert M.T.P., Wales N. (2016). Genome sequence of a 5,310-year-old maize cob provides insights into the early stages of maize domestication. *Current Biology* 26:3195-3201.
- Randolph L.F. (1962). *Podrijetlo i povijest kukuruza s gledišta citogenetike*. Iz knjige: *Kukuruz i unaprjeđenje njegove proizvodnje* (urednik G.F. Sprague). Academic Press Inc., Publishers, New York. *Zadružna knjiga – Beograd* 1962.
- Ranere A.J., Piperno D.R., Holst I., Dickau R., Iriarte J. (2009). The cultural and chronological context of early Holocene maize and squash domestication in the Central Balsas River Valley, Mexico. *PNAS* 106:5014–5018.
- Rebourg C., Gouesnard B., Charcosset A. (2001). Large scale molecular analysis of traditional European maize populations – relationships with morphological variations. *Heredity* 86: 574-587.
- Rebourg C., Chastanet M., Gouesnard B., Welcker C., Dubreuil P., Charcosset (2003). Maize introduction into Europe: the history reviewed in the light of molecular data. *Theoretical and Applied Genetics* 106:895-903.
- Reeves R.G., Mangelsdorf P.C. (1942). A proposed taxonomic change in the tribe Maydeae (Family Gramineae). *American Journal of Botany* 29: 815-817.
- Reeves R.G., Mangelsdorf P.C. (1959). The origin of corn . II. Teosinte, a hybrid of corn and *Tripsacum*. *Botanical Museum Leaflets Harvard University* 18:357-387.
- Reich D. (2018). *Who we are and how we got here*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Reid O.G. (1915). One great accomplishment in corn breeding. *Breed. Gaz.* 67: 383-384.

- Reik W. (2007). Stability and flexibility of epigenetic gene regulation in mammalian development. *Nature* 447:425-432.
- Revilla Temiño P., Soengas Fernández M.P., Carrea González M.E., Malvar Pintos R.A., Ordás Pérez A. (2003). Isozyme variability among European maize populations and the introduction of maize in Europe. *Maydica* 48(2):141-152.
- Richards M.P., Trinkhaus E. (2009). Isotopic evidence for the diets of European Neanderthals and early modern humans. *PNAS* 106 (38):16034-16039.
- Ritchie J.T. (1986). The CERES-maize model. In: Jones C.A., Kiniry J.R. (eds.) CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A&M Univ. Press, College Station.
- Ritchie S.W., Hanway J.J., Benson G.O. (1986). How a corn plant develops. Cooperative Extension Service Special Report 40. (revised ed.) Iowa State University, Ames.
- Ritter W.F., Beer C.E. (1969). Yield reduction by controlled flooding of corn. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 12:46-50.
- Roberts L.M., Grant U.J., Ramirez R.E., Hathaway W.H., Smith D.L., with Mangelsdorf P.C. (1957). Races of maize in Colombia. *NAS-NRC Publication* 510.
- Robinson J., Anishetty M. (2004). Germplasm: International and national centers. In: Goodman R.M. (ed.) Encyclopedia of plant and crop science. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Rodríguez-Robayo K.J., Méndez-López M.E., Molina-Villegas A., Juárez L. (2020). What do we talk about when we talk about milpa? A conceptual approach to the significance, topics of research and impact of the mayan milpa system. *Journal of Rural Studies* 77:47-54.
- Romay M.C., Millard M.J., Glaubitz J.C., Peiffer J.A., Swarts K.L., Casstevens T.M., Elshire R.J., Acharya C.B., Mitchell S.E., Flint-Garcia S.A., McMullen M.D., Holland J.B., Buckler E.S., Gardner C.A. (2013). Comprehensive genotyping of the USA national maize inbred seed bank. *Genome Biology* 14, R55.
- Ron-Parra J., Sánchez J.J., Jiménez C.A., Carrera J.A., Martín J.G., Morales R.M. de la Cruz L.L., Hurtado P.S., Mena M.S., Rodríguez J.G. (2006). Maíces nativos del Occidente de México I. Colectas 2004. *Scientia* 8(1):1-139.
- Rosenwig R., VanDerwarker A.M., Culleton B.J., Kennett D.J. (2015). Is it agriculture yet? Intensified maize-use at 1000cal BC in the Soconusco and Mesoamerica. *Journal of Anthropological Archaeology* 40:89-108.
- Rosling H., Rosling O., Rosling Rönnlund (2018). Factfulness: Ten reasons we're wrong about the world – and why things are better than you think. Flatiron Books, New York.

- Sachs M.M. (2009). Maize genetic resources. In: Kriz A.L., Larkins B.A. (eds.), *Molecular Genetic Approaches to Maize Improvement, Biotechnology in Agriculture and Forestry*, Vol. 63. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009.
- Salhuana W., Pollak L., Tiffany D. (1994). Public/private collaboration proposed to strengthen quality and production of USA corn through germplasm enhancement. *Diversity* 10(1):77-78.
- Sánchez J.J., Goodman M.M., Stuber C.W. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. *Economic Botany* 54(1):43-59.
- Sauer C.O. (1966). *The Early Spanish Main*. The University of California Press, Berkeley.
- Saunders N.J. (1994). Predators of culture: Jaguar symbolism and Mesoamerican elites. *World Archaeology* 26(1):104-117.
- Sawers R.J.H., Sanchez Leon N.L. (2011). Origins of maize: a further paradox resolved. *Frontiers in Genetics* 2(53):1-2.
- Schmidt J.E., Bowles T.M., Gaudin A.C.M. (2016). Using ancient traits to convert soil health into crop yield: Impact of selection on maize root and rhizosphere function. *Frontiers in Plant Science* 7:373.
- Schnable P.S., Ware D., Fulton R.S., Stein J.C., Wei F., Pasternak S., Liang C., Zhang J., Fulton L., Graves T.A., Minx P., Reily A.D., Courtney L., Kruchowski S.S., Tomlinson C., Strong C., Delehaunty K., Fronick C., Courtney B., Rock S.M., Belter E., Du F., Kim K., Abbott R.M., Cotton M., Levy A., Marchetto P., Ochoa K., Jackson, S.M., Gillam B., Chen W., Yan L., Higginbotham J., Cardenas M., Waligorski J., Applebaum E., Phelps L., Falcone J., Kanchi K., Thane T., Scimone A., Thane N., Henke J., Wang T., Ruppert J., Shah N., Rotter K., Hodges J., Ingenthron E., Cordes M., Kohlberg S., Sgro J., Delgado B., Mead K., Chinwalla A., Leonard S., Crouse K., Collura K., Kudrna D., Currie J., He R., Angelova A., Rajasekar S., Mueller T., Lomeli R., Scara G., Ko A., Delaney K., Wissotski M., Lopez G., Campos D., Braidotti M., Ashley E., Golser W., Kim H., Lee S., Lin J., Dujmic Z., Kim W., Talag J., Zuccolo A., Fan C., Sebastian A., Kramer M., Spiegel L., Nascimento L., Zutavern T., Miller B., Ambroise C., Muller S., Spooner W., Narechania A., Ren L., Wei S., Kumari S., Faga B., Levy M.J., McMahan L., Van Buren P., Vaughn M.W., Ying K., Yeh C., Emrich S.J., Jia Y., Kalyanaraman A., Hsia A., Barbazuk W.B., Baucom R.S., Brutnell T.P., Carpita N.C., Chaparro C., Chia J., Deragon J., Estill J.C., Fu Y., Jeddelloh J.A., Han Y., Lee H., Li P., Lisch D.R., Liu S., Liu Z., Holligan Nagel D., McCann M.C., SanMiguel P., Myers A.M., Nettleton D., Nguyen J., Penning B.W., Ponnala L., Schneider K.L., Schwartz D.C., Sharma A., Soderlund C., Springer N.M., Sun Q., Wang H., Waterman M., Westerman R., Wolfgruber T.K., Yang L., Yu Y., Zhang L., Zhou S., Zhu Q., Bennetzen J.L., Kelly Dawe R., Jiang J., Jiang N., Presting G.G., Wessler S.R., Aluru S., Martienssen R.A., Clifton S.W., McCombie W.R., Wing R.A., Wilson R.K. (2009). The B73 maize genome: Complexity, diversity, and dynamics. *Science* 326: 1112-1115.
- Seabrook J. (2007). Sowing for apocalypse. *The New Yorker*. Aug.27:61-71.

- Shands H.L., Fitzgerald P.J., Eberhart S.A. (1989). Program for plant germplasm preservation in the United States. In: Knutson L., Stoner A.K. (eds.) *Biotic diversity and germplasm preservation: global imperatives*. Kluwer, Dordrecht, pp 97-116.
- Shaw L.H., Durost D.D. (1965). The effect of weather and technology on corn yields in the Corn Belt, 1929-1962. USDA Econ. Res. Serv. Agric. Econ. Rep. 80. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Shortridge J.R. (1989). *The Middle West: Its meaning in American culture*. University Press of Kansas.
- Shull G.H. (1909). A pure-line method of corn breeding. *American Breeders' Association Rep.* 5:51-59.
- Shull G.H. (1910). Hybridization methods in corn breeding. *American Breeder's Magazine* 1:98-107.
- Sigmon B., Vollbrecht E. (2010). Evidence of selection at the ramosal locus during maize domestication. *Molecular Ecology* 19(7):1296-1311.
- Simmonds N.W. (1993). Introgression and incorporation. Strategies for the use of crop genetic resources. *Biological Reviews* 68:539-562.
- Singh N., Wu S., Raupp W.J., Sehgal S., Arora S., Tiwari V., Vikram P., Singh S., Chhuneja P., Bikram S. Gill B.S., Poland J. (2019). Efficient curation of genebanks using next generation sequencing reveals substantial duplication of germplasm accessions. *Scientific Reports* 9, 650.
- Skender A., Knežević M., Đurkić M., Martinčić J., Guberac V., Kristek A., Stjepanović M., Bukvić G., Matotan Z., Šilješ I., Ivezić M., Raspudić E., Horvat D., Jurković D., Kalinović I., Šamota D. (1998.). *Sjemenje i plodovi poljoprivrednih kultura i korova na području Hrvatske*. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.
- Slack C.R., Hatch M.D. (1967). Comparative studies on the activity of carboxylases and other enzymes in relation to the new pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation in tropical grasses. *The Biochemical Journal* 103(3):660-665.
- Smalley J., Blake M. (2003). Sweet beginnings: Stalk sugar and the domestication of maize. *Current Anthropology* 44(5):675-703.
- Smith B.D. (1997). Reconsidering the Ocampo caves and the era of incipient cultivation in Mesoamerica. *Latin American Antiquity* 8:342-383.
- Smith B.D. (2005). Reassessing Coxcatlan cave and the early history of domesticated plants in Mesoamerica. *PNAS* 102: 9438-9944.
- Smith, J.P. Jr. (2017). A Chronicle of Economic Botany (2017). *Botanical Studies* 9.
- Smith M.E. (2005). City size in late postclassic Mesoamerica. *Journal of Urban History* 31(4):403-434.

- Smith R.C. (1979). The story of maize and the farmers' co-op Ltd. Salisbury, Southern Rhodesia: Farmers' Co-op, 1979.
- Smith R.D, Linington S.H., Wechsberg G.E. (1998). The Millennium Seed Bank. The Convention on Biological Diversity and the dry tropics. In: Prendergast H.D.V., Etkin N.L., Harris D.R., Houghton P.J. (eds), Plants for food and medicine, pp 251-261. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Smith S. (2007). Pedigree background changes in U.S. hybrid maize between 1980 and 2004. *Crop Science* 47(5):1914-1926.
- Soderlund C., Descour A., Kudrna D., Bomhoff M., Boyd L., Currie J., Angelova A., Collura K., Wissotski M., Ashley E., Morrow D., Fernandes J., Walbot V., Yu Y. (2009). Sequencing, Mapping and Analysis of 27,455 Maize Full-length cDNAs. *PLoS Genetics* 5:e1000740.
- Sorić R., Ledenčan T., Zdunić Z., Jambrović A., Brkić I., Lončarić Z., Kovačević V., Šimić D. (2011). Quantitative trait loci for metal accumulation in maize leaf. *Maydica* 56:323-329.
- Spaeth B.S. (1996). The Roman goddess Ceres (1st ed.). University of Texas Press.
- Sprague G.F. (1946). Early testing of inbred lines of corn. *Journal of the American Society of Agronomy* 38: 108-117.
- Staller J.E. (2010). Maize cobs and cultures: History of *Zea mays* L. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010.
- Stitzer M.C., Ross-Ibarra J. (2018). Maize domestication and gene interaction. *New Phytologist* 220:395-408.
- Stjepanović M. (1998.). Lucerna. NIP „Nova Zemlja“ d.o.o. Laslovo, Osijek.
- Stoesser G., Sterk P., Tuli M.A., Stoehr P.J., Cameron G.N. (1997). The EMBL nucleotide sequence database. *Nucleic Acids Research* 25(1):7-14.
- Stross B. (2006). Maize in word and image in southeastern Mesoamerica. In: Staller J.E., Tykot R.H., Benz B.F. (eds.) (2006) Histories of maize: Multidisciplinary approaches to the prehistory, linguistics, biogeography, domestication, and evolution of maize. Routledge, New York, USA.
- Studer A., Zhao Q., Ross-Ibarra J., Doebley J. (2011). Identification of a functional transposon insertion in the maize domestication gene tb1. *Nature Genetics* 43(11):1160-1163.
- Studer A.J., Wang H., Doebley J.F. (2017). Selection during maize domestication targeted a gene network controlling plant and inflorescence architecture. *Genetics* 207:755-765.
- Sturtevant A.H.A. (1965). History of Genetics (Harper & Row, New York, 1965).

- Sturtevant E.L. (1899). Varieties of corn. U.S.D.A. Office Experiment Station Bulletin No. 57.
- Sutton W. (1903). The chromosomes in heredity. *Biological Bulletin* 4:231-251.
- Swanson-Wagner R., Briskine R., Schaefer R., Hufford M.B., Ross-Ibarra J., Myers C.L., Tiffin P., Springer N.M. (2012). Reshaping of the maize transcriptome by domestication. *PNAS* 109(29):11878-83.
- Swarts K., Gutaker R.M., Benz B., Blake M., Bukowski R., Holland J., Kruse-Peeples M., Lepak N., Prim L., Cinta Romay M., Ross-Ibarra J., Sanchez-Gonzalez J.J., Schmidt C., Schuenemann V.J., Krause J., Matson R.G., Weigel D., Buckler E.S., Burbano H.A. (2017). Genomic estimation of complex traits reveals ancient maize adaptation to temperate North America. *Science* 357:512-515.
- Sydenstricker V.P. (1958). The history of pellagra, its recognition as a disorder of nutrition and its conquest. *The American Journal of Clinical Nutrition* 6(4):409-14.
- Šatović F. (1998). Kukuruzno nazivlje u hrvatskim govorima. *Sjemenarstvo* 15(98)6, pp. 479-494.
- Šimić B., Popović R., Volenik S., Andrić L., Plavšić H., Andračić V., Ivanišić I. (2004.). Stanje i mogućnost proizvodnje hibrida kukuruza s osvrtom na izvoz. *Poljoprivreda* 10:15-19.
- Šimić D. (1999). Quantitative genetic studies on the integration of exotic germplasm into adapted maize breeding materials. Dissertation of University of Hohenheim, Stuttgart, 1999.
- Šimić D., Jambrović A., Brkić I. (2001). Prevladavanje problema nedostajućih vrijednosti u oplemenjivačkim pokusima. *Poljoprivreda* 7(2):3-7.
- Šimić D., Presterl T., Seitz G., Geiger H.H. (2003a). Usefulness of F₂, F₂-syn2, and BC₁ populations derived from four adapted by exotic maize crosses. *Maydica* 48:299-305.
- Šimić D., Gunjača J., Zdunić Z., Brkić I., Kovačević V. (2003b). Biometrical characterization of test sites for maize breeding. *Poljoprivreda* 9(2):18-24.
- Šimić D., Pecina M., Ledenčan T., Zdunić Z., Jambrović A., Brkić J., Brkić I. (2004.). Usporedba unutarokolinskih i međuokolinskih parametara pravilnog smještanja oplemenjivačkih pokusa. *Poljoprivreda* 10(1):1-7.
- Šimić D., Ivezić M., Brkić I., Raspudić E., Brmež M., Majić I., Brkić A., Ledenčan T., Tollefson J.J., Hibbard B.E. (2007). Environmental and genotypic effects for western corn rootworm tolerance traits in American and European maize trials. *Maydica* 52:425-430.
- Šimić D., Zdunić Z., Jambrović A., Ledenčan T., Brkić I., Duvnjak V., Kovačević V. (2009a). Relations among six micronutrients in grain determined in a maize population. *Poljoprivreda* 15(2): 1-7.

- Šimić D., Sudar R., Ledenčan T., Jambrović A., Zdunić Z., Brkić I., Kovačević V. (2009b). Genetic variation of bioavailable iron and zinc in grain of a maize population. *Journal of Cereal Science* 50:392-397.
- Šimić D., Ledenčan T., Jambrović A., Zdunić Z., Brkić J., Brkić A., Mladenović Drinić S., Brkić I. (2009c). SNP and SSR marker analysis and mapping of a maize population. *Genetika* 41(3):237-246.
- Šimić D., Mladenović Drinić S., Zdunić Z., Jambrović A., Ledenčan T., Brkić J., Brkić A., Brkić I. (2011). Quantitative trait loci for biofortification traits in maize grain. *Journal of Heredity* 103(1):47-54.
- Šimić D., Lepeduš H., Jurković V., Antunović J., Cesar V. (2014). Quantitative genetic analysis of chlorophyll a fluorescence parameters in maize in the field environments. *Journal of Integrative Plant Biology* 56(7):695-708.
- Taba S., Eberhart S.A., Pollak L.M. (2004). Germplasm resources. In: Smith C.W., Betran J., Runge E.C.A. (eds.) Corn: origin, history, technology and production. Wiley, Hoboken.
- Tait M. (2008). Going, going, gone? Animals and plants on the brink of extinction and how you can help. Think Books, an imprint of Pan Macmillan Ltd, London.
- Tanksley S.D., Nelson J.C. (1996). Advanced backcross QTL analysis: a method for the simultaneous discovery and transfer of valuable QTLs from unadapted germplasm into elite breeding lines. *Theoretical and Applied Genetics* 92:191-203.
- Tarter J.A., Goodman M.M., Holland J.B. (2003). Testcross performance of semiexotic inbred lines derived from Latin American maize accessions. *Crop Science* 43(6):2272-2278.
- Tateno Y., Gojobori T. (1997). DNA Data Bank of Japan in the age of information biology. *Nucleic Acids Research* 25(1):14-17.
- Tavčar A. (1955.). Metode uzgoja hibridnog kukuruza kod nas. *Agronomski glasnik Društva agronoma Hrvatske* 5, 1955.
- Tello-Ruiz M.K., Naithani S., Stein J.C., Gupta P., Campbell M., Olson A., Wei S., Preece J., Geniza M.J., Jiao Y., Lee Y.K., Wang B., Mulvaney J., Chougule K., Elser J., Al-Bader N., Kumari S., Thomason J., Kumar V., Bolser D.M., Naamati G., Tapanari E., Fonseca N., Huerta L., Iqbal H., Keays M., Munoz-Pomer Fuentes A., Tang A., Fabregat A., D'Eustachio P., Weiser J., Stein L.D., Petryszak R., Papatheodorou I., Kersey P.J., Lockhart P., Taylor C., Jaiswal P., Ware D. (2018). Gramene 2018: unifying comparative genomics and pathway resources for plant research. *Nucleic Acids Research* 2018 Jan 4; 46 (Database issue): D1181-D1189.
- Tenaillon M.I., Charcosset A. (2011). A European perspective on maize history. *Comptes Rendus Biologies* 334:221-228.

- Tenaillon M.I., Sawkins M.C., Long A.D., Gaut R.L., Doebley J.F., Gaut B.S. (2001). Patterns of DNA sequence polymorphism along chromosome 1 of maize (*Zea mays* ssp. *mays* L.). *PNAS* 98(16):9161-9166.
- Tenaillon M., U'Ren J., Tenaillon O., Gaut B. (2004). Selection versus demography: A multilocus investigation of the domestication process in maize. *Molecular Biology and Evolution* 21(7):1214-1225.
- Thompson L.M. (1969). Weather and technology in the production of corn in the U.S. Corn Belt. *Agronomy Journal* 61:453-456.
- Tian F., Stevens N.M., Buckler E.S. (2012). Tracking footprints of maize domestication and evidence for a massive selective sweep on chromosome 10. *PNAS* 106(1):9979-9986.
- Tilman D. (1999). Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. *PNAS* 96:5995-6000.
- Timothy D.H., Pena V.B., Ramirez E.R., with Brown W.L., Anderson E. (1961). Races of maize in Chile. *NAS-NRC Publication* 847.
- Timothy D.H., Hathaway, W.H., Grant, U.J., Torregoza C.M., Sarria V.D., Varela A.D. (1963). Races of maize in Ecuador. *NAS-NRC Publication* 975.
- Tollenaar M. (1983). Potential vegetative productivity in Canada. *Canadian Journal of Plant Science* 63:1-10.
- Tracy W. F., Chandler M.A. (2006). The historical and biological basis of the concept of heterotic patterns in corn belt dent maize. In: Lamkey K.R., Lee M. (eds.) *Plant breeding: The Arnel R. Hallauer International Symposium*, pp. 219–233. Ames, IA, Wiley-Blackwell.
- Troyer A. F. (1999). Background of U.S. Hybrid Corn. *Crop Science* 39(3):601-626.
- Troyer A.F. (2000). Temperate corn: background, behavior, and breeding. In: Hallauer A. (ed.) *Specialty Corns*, CRC Press. Boca Raton, London, New York, Washington, DC.
- Troyer A.F. (2004). Background of U.S. hybrid corn II: Breeding , climate, and food. *Crop Science* 44:370-380.
- Troyer A.F. (2009). Development of hybrid corn and the seed corn industry. In: Bennetzen J.L., Hake S.C. (eds.) *Handbook of maize: Genetics and genomics*, pp. 87-114. Springer, New York, NY.
- Troyer A.F., Mikel M.A. (2010). Minnesota corn breeding history: Department of agronomy and plant genetics centennial. *Crop Science* 50:1141-1150.
- Uhr D.V., Goodman M.M. (1995). Temperate maize inbreds derived from tropical germplasm: I. testcross yield trials. *Crop Science* 35(3):779-784.

- Uhr D.V., Goodman M.M. (1995). Temperate maize inbreds derived from tropical germplasm: II. inbred yield trials. *Crop Science* 35(3):785-790.
- Unterseer S., Pophaly S.D., Peis R., Westermeier P., Mayer M., Seidel M.A., Haberer G., Mayer K.F.X., Ordas B., Pausch H., Tellier A., Bauer E., Schön C.C. (2016). A comprehensive study of the genomic differentiation between temperate dent and flint maize. *Genome Biology* 17:137.
- USCB, U.S. Census Bureau, Census Regions and Divisions of the United States. U.S. Census Bureau. Retrieved 24 October 2016.
- USDA ERS, Economic Research Service Feed Grains Data: Yearbook Tables. July 13th, 2017.
- USDA ERS, Economic Research Service Feed Outlook, Jan. 2020.
- USDA FAS, Foreign Agricultural Service, Office of Global Analysis. July 2017.
- USDA FDC, FoodData Central (2020) (<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/1102594/nutrients>; <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/1102597/nutrients>).
- USDA NASS, National Agriculture Statistics Service, Crop Production Annual Jan. 12, 2017.
- USDA, National Nutrient Database for Standard Reference, May 2016 (<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show>).
- USDA NRCS, National Resources Conservation Service, Classification Report, Feb. 23, 2018.
- USDA WASDE, World Agricultural Supply and Demand Estimates Feb. 8, 2019. (<http://www.worldofcorn.com/#us-corn-crop-value>).
- Uzoh I.M., Igwe C.A., Okebalama C.B. Babalola O.O. (2019). Legume-maize rotation effect on maize productivity and soil fertility parameters under selected agronomic practices in a sandy loam soil. *Scientific Reports* 9:8539.
- Vallebuena-Estrada M., Rodríguez-Arévalo I., Rougon-Cardoso A., Martínez González J., García Cook A., Montiel R., Vielle-Calzada J. (2016). The earliest maize from San Marcos Tehuacán is a partial domesticate with genomic evidence of inbreeding. *PNAS* 113(49): 14151-14156.
- van Eeuwijk F.A., Bustos-Korts D.V., Malosetti M. (2016). What should students in plant breeding know about the statistical aspects of genotype × environment interactions? *Crop Science* 56:2119-2140.
- van Heerwaarden J., Hufford M.B., Ross-Ibarra J. (2012). Historical genomics of North American maize. *PNAS* 109(31):12420-12425.

- van Vliet N., Mertz O., Heinemann A., Tobias Langanke T., Pascual U., Schmook B., Adams C., Schmidt-Vogt D., Messerli P., Leisz S., Castella J., Jørgensen L., Birch-Thomsen T., Hett C., Bech-Bruun T., Ickowitz A., Vum K.C., Yasuyuki K., Fox J., Padoch C., Dressler W., Ziegler A.D. (2012). Trends, drivers and impacts of changes in swidden cultivation in tropical forest-agriculture frontiers: A global assessment. *Global Environmental Change* 22:418–429.
- Vasilakoglou I., Dhima K., Eleftherohorinos I. (2005). Allelopathic potential of bermudagrass and johnsongrass and their interference with cotton and corn. *Agronomy Journal* 97:303-313.
- Vaughan D.A., Balázs E., Heslop-Harrison J.S. (2007). From crop domestication to super-domestication. *Annals of Botany* 100:893-901.
- Vavilov N.I. (1992). Origin and geography of cultivated plants. V.F. Dorofeyev (ed.), translated by D. Löve. Cambridge University Press, Great Britain.
- Vigoroux Y., McMullen M., Hittinger C.T., Houchins K., Schulz L., Kresovich S., Matsuoka Y., Doebley J. (2002). Identifying genes of agronomic importance in maize by screening microsatellites for evidence of selection during domestication. *PNAS* 99(15):9650-9655.
- Vigoroux Y., Glaubitz J.C, Matsuoka Y., Goodman M.M., Sanchez J.G., Doebley J. (2008). Population structure and genetic diversity of New World maize races assessed by DNA microsatellites. *American Journal of Botany* 95(10):1240-1253.
- Vinal S.C. (1917). The European Corn Borer, *Pyrausta nubilalis* Hübner, a recently established pest in Massachusetts. *Massachusetts Agricultural Experiment Station Bulletin* 178:147-152.
- Vollbrecht E., Sigmon B. (2005). Amazing grass: developmental genetics of maize domestication. *Biochemical Society Transactions* 33(6):1502-1506.
- Vukadinović V., Lončarić Z. (1998.). Ishrana bilja. Poljoprivredni fakultet Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.
- Walter A., Finger R., Huber R., Buchmann N. (2017). Smart farming is key to developing sustainable agriculture. *PNAS* 114(24):6148-6150.
- Wang H., Nussbaum-Wagler T., Li B., Zhao Q., Vigoroux Y., Faller M., Bomblies K., Lukens L., Doebley J. (2005). The origin of the naked grains of maize. *Nature* 436:714-719.
- Wang K., Frame B., Ishida Y., Komari T. (2009). Maize transformation. In: Bennetzen J.L., Hake S. (eds.) *Maize Handbook: Genetics and Genomics*. © Springer Science + Business Media LLC 2009.
- Wang R.L., Stec A., Hey J., Lukens L., Doebley J. (1999). The limits of selection during maize domestication. *Nature* 398:236-239.

- Warsaw H. (1985). High yield corn production. In: Munson R.D. (ed.) Physiology, biochemistry, and chemistry associated with maximum yield corn. Proceedings of the Workshop Foundation for agronomic Research and Potash Phosphate Institute, November 11-12, 1985, St. Louis, MO, pp. 193-199.
- Watson J.D., Crick F.H.C. (1953a). A structure for Deoxyribose Nucleic Acid. *Nature* 171:737-738.
- Watson J.D., Crick F.H.C. (1953b). Genetical Implications of the structure of Deoxyribonucleic Acid. *Nature* 171:964-967.
- Watson S.A. (2003). Description, development, structure, and composition of the corn kernel. In Corn: Chemistry and Technology. P.J. White (ed.), Second edition, American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, USA.
- Watt G. (1893). Maize or Indian corn. Dictionary of the economic products of India 6:326-354. Cosmo, Delhi.
- Weatherwax P. (1954). Indian corn in Old America. MacMillan, New York.
- Weatherwax P., Randolph L.F. (1955). History and origin of maize. In: Corn and Corn Improvement, G.F. Sprague (ed.), pp. 1-57. Academic Press Inc., Publishers, New York.
- Weber E., Bleiholder H. (1990). Erläuterungen zu den BBCH-dezimal-codes für die Entwicklungsstadien von Mais, Raps, Faba-Bohne, Sonnenblume und Erbse – mit Abbildungen. *Gesunde Pflanzen* 42:308-321.
- Wellhausen E.J., Roberts, L.M., Hernandez X.E., with Mangelsdorf P.C. (1952). Races of maize in Mexico. Bussey Inst. Harvard Univ. Press, Cambridge.
- Wellhausen E.J., Fuentes O.A., Hernandez C.A., with Mangelsdorf P.C. (1957). Races of maize in Central America. *NAS-NRC Publication* 511.
- Westengen O.T., Jeppson S., Guarino L. (2013). Global ex-situ crop diversity conservation and the Svalbard Global Seed Vault: Assessing the current status. *PLoS ONE* 8(5):e64146.
- Whipple C.J., Kebrom T.H., Weber A.L., Yang F., Hall D., Meeley R., Schmidt R., Doebley J., Brutnell T.P. Jackson D.P. (2011). Grassy tillers1 promotes apical dominance in maize and responds to shade signals in the grasses. *PNAS* 108(33):506-512.
- Whitehead F.C., Caton H.G., Hallauer A.R., Vasal S., Cordova H. (2006). Incorporation of elite subtropical and tropical maize germplasm into elite temperate germplasm. *Maydica* 51:43-56.
- Whitt S.R., Wilson L.M., Tenaillon M.I., Gaut B.S., Buckler E.S. (2002). Genetic diversity and selection in the maize starch pathway. *PNAS* 99(20):12959-12962.
- Wilkes H.G. (1967). Teosinte: The closest relative of maize. The Bussey Institute of Harvard University, Cambridge.

- Wills D.M., Fang Z., York A.M., Holland J.B., Doebley J.F. (2018). Defining the role of the MADS-box gene, *Zea Agamous-like1*, a target of selection during maize domestication. *Journal of Heredity* 109(3):333-338.
- Wilson E.O. (2016). *Half-Earth: Our planet's fight for life*. Liveright Publishing Corporation, A Division of W. W. Norton & Company, Independent Publishers Since 1923, New York, London.
- Woolston C., Osório J. (2019). When English is not your mother tongue. *Nature* 570:265-267.
- Wright K.R., Wright R.M., Jensen M.E., Valencia Zegarra A. (1997). Machu Picchu ancient agricultural potential. *Applied Engineering in Agriculture* 13(1):39-47.
- Wright S.I., Vroh Bi I., Schroeder S.G., Yamasaki M., Doebley J.F., McMullen M.D., Gaut B.S. (2005). The effects of artificial selection on the maize genome. *Science* 308(5726):1310-1314.
- Xiao Y., Liu H., Wu L., Warburton M., Yan J. (2017). Genome-wide association studies in Maize: Praise and stargaze. *Molecular Plant* 10:359-374.
- Yadava P., Abhishek A., Singh R., Singh I., Kaul T., Pattanayak A., Agrawal P.K. (2017). Advances in maize transformation technologies and development of transgenic maize. *Frontiers in Plant Science* 7:1949.
- Yamasaki M., Tenaillon M.I., Vroh Bi I., Schroeder S.G., Sanchez-Villeda H., Doebley J.F., Gaut B.S., McMullen M.D. (2005). A large-scale screen for artificial selection in maize identifies candidate agronomic loci for domestication and crop improvement. *The Plant Cell* 17:2859-2872.
- Yamasaki M., Wright S.I., McMullen M.D. (2007). Genomic screening for artificial selection during domestication and improvement in maize. *Annals of Botany* 100: 967-973.
- Yan J., Warburton M., Crouch J. (2011). Association mapping for enhancing maize (*Zea mays* L.) genetic improvement. *Crop Science* 51:433-449.
- Yilmaz A., Nishiyama Jr. M.Y., Garcia Fuentes B., Mendes Souza G., Janies D., Gray J., Grotewold E. (2009). GRASSIUS: A Platform for Comparative Regulatory Genomics across the Grasses. *Plant Physiology* 149:171-180.
- Zdunić Z., Šimić D., Brkić I., Jambrović A., Zdunić R., Ledenčan T. (2002). Značenje izbora testera kod procjene stabilnosti prinosa zrna hibrida kukuruza. *Poljoprivreda* 8(1):20-24.
- Zdunić Z., Šimić D., Brkić I., Jambrović A., Zdunić R., Ledenčan T. (2003). Procjena genetskih efekata za visinu biljke na dva specifična para inbred linija kukuruza i šest generacija križanja. *Poljoprivreda* 9(1):5-8.

Zdunić Z., Mijić A., Dugalić K., Šimić D., Brkić J., Marjanović-Jeromela A. (2008). Genetic analysis of grain yield and starch content in nine maize populations. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 32:495-500.

Zdunić Z., Grljušić S., Ledenčan T., Duvnjak T., Šimić D. (2014). Quantitative trait loci mapping of metal concentrations in leaves of the maize IBM population. *Hereditas* 151: 55-60.

Zhao Q., Thuilet A., Uhlmann N.K., Weber A., Rafalski J.A., Allen S.M., Tingey S., Doebley J. (2008). The role of regulatory genes during maize domestication: Evidence from nucleotide polymorphism and gene expression. *Genetics* 178(4):2133-2143.

Zhao W., Canaran P., Jurkuta R., Fulton T., Glaubitz J., Buckler E., Doebley J.F., Gaut B., Goodman M.M., Holland J., Kresovich S., McMullen M., Stein L., Ware D. (2006). Panzea: a database and resource for molecular and functional diversity in the maize genome. *Nucleic Acids Research* 34(Database issue):D752–D757.

Kukuruzna palača <http://www.cornpalace.org/149/Corn-Palace-History>

The Plant List – A working list of all plant species
(<http://www.theplantlist.org/tpl1.1/search?q=Zea>)

Jezični savjetnik <https://jezicni-savjetnik.hr/?page=8>

Za daljnje čitanje

George F. Sprague (ed.) (1955). **Corn and corn improvement**. Academic Press Inc., Publishers, New York.

George F. Sprague, John W. Dudley (eds.) (1988). **Corn and corn improvement**, Third Edition. American Society of Agronomy, Inc.; Crop Science Society of America, Inc.; Soil Science Society of America, Inc.; Madison, Wisconsin, USA.

Julio Martinčić, Vinko Kozumplik (1996.). **Oplemenjivanje bilja**. Poljoprivredni fakultet Osijek; Agronomski fakultet Zagreb.

Vitimir Bekrić (1997.) **Upotreba kukuruza**. Institut za kukuruz Zemun Polje, Beograd-Zemun.

Peter A. Peterson, Angelo Bianchi (eds.) (1999). **Maize genetics and breeding in the 20th century**. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

James C. McCann (2005). **Maize and grace: Africa's encounter with a New World crop, 1500-2000**. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, and London, England.

- Kendall R. Lamkey, Michael Lee (eds.) (2006). **Plant breeding: The Arnell R. Hallauer International Symposium**. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA.
- John E. Staller, Robert H. Tykot, Bruce F. Benz (eds.) (2006). **Histories of maize: Multidisciplinary approaches to the prehistory, linguistics, biogeography, domestication, and evolution of maize**. Routledge, New York, USA.
- Jeff L. Bennetzen and Sarah C. Hake (eds.) (2009). **Handbook of maize: Genetics and genomics**. Springer Science + Business Media, LLC 2009.
- Jeff L. Bennetzen and Sarah C. Hake (eds.) (2009). **Handbook of maize: Its biology**. Springer Science + Business Media, LLC 2009.
- John E. Staller (2010). **Maize cobs and cultures: History of Zea mays**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Vinko Kozumplik, Ivan Pejić (ur.) (2012.). **Oplemenjivanje poljoprivrednog bilja u Hrvatskoj**. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet.
- Violeta Anđelković and Dragana Ignjatović-Micić (2012). **Maize genetic resources – Science and benefits**. Serbian Genetic Society, Maize Research Institute „Zemun Polje“.
- Duccio Bonavia (2013). **Maize: Origin, domestication, and its role in the development of culture**. Cambridge University Press, Cambridge, England.
- Michael Blake (2015). **Maize for the gods: Unearthing the 9000-year history of corn**. University of California Press, Oakland, California, USA.
- Cynthia Clampitt (2015). **Midwest maize: How corn shaped the U. S. heratland**. University of Illinois Press, Urbana, Chicago, and Springfield, USA.
- Sergio O. Serna-Saldivar (ed.) (2019). **Corn: Chemistry and technology**. Woodhead Publishing-Elsevier, Cambridge, USA and Duxford, UK + AACC International.
- Bernardo R. (2020). **Breeding for quantitative traits in plants**, Third Edition. Stemma Press, Woodbury Minnesota.

Summary

Maize is one of the most important plants in human history. It has been comprehensively studied for over a century and it is considered to be the most explored plant in plant breeding and genetics. Through its morphology, physiology, genetics, genomics, and many interdisciplinary areas such as paleobotany and ethnohistory, maize carved its way as a model plant in current and future studies for many generations to come. Its variability and adaptability to a wide range of habitats around the globe makes it one of the champions among the best adapted and most widespread crops.

Maize originated in Mexico around 9000 years ago, spread across the Americas, and after 1492 started the new chapter as it was introduced to the Old World. Today, with production of over a billion tonnes per year, maize is the second most produced crop in the world, only after sugar cane. It is used as food, feed, fuel, and raw material for hundreds of products in different industries. Significance of maize as a cultivated plant kept on growing throughout centuries, which was based on the fact that maize made a long way from its homeland in Mexico to every continent except Antarctica. Importance of maize is vastly magnified through its origin, domestication, adaptation and spreading.

This book is titled *Maize: from domestication to breeding*. The first chapter presents some general information about the economic aspects, morphology, physiology and production of maize, as well as its use. The second chapter of the book is about systematics, origin and introduction of maize into the Old World. The third chapter is about types of germplasm and its use in plant breeding, research in maize breeding and genetics and resource conservation. After the third part basic terminology is discussed through short glossary.

Most people today – even farmers and people of various professions working within maize business – think of maize as a product (e. g. feed, silage, alcohol, syrup, flour, corn flakes etc.), raw material or a resource that is continuously at our disposal, ready for exploitation and profit making. We don't see it as a plant that had been around for quite a while, evolving for thousands of years, crossing oceans and spreading all over the world, or as a plant that played (and still plays) an important role in our civilization. We domesticated maize but the proces went in the opposite direction as well.

Providing some important information about maize notwithstanding, main goal of this book is to broaden the conventional view that we have about maize, and to present maize in somewhat different fashion, through its rich and complex history, countless types of germplasm, extensive and long term research in order to reveal – or better to say *repeat* – the story of maize and its importance in human society, from distant past and ancient American civilizations up to the present day in a small Croatian village.



Popis kratica, slika, tablica i grafikona

Popis kratica

AGG = Australian Grains Genebank
AEGIS = A European Genebank Integrated System
AMS = Accelerator Mass Spectrometry
APG = Angiosperm Phylogeny Group
ARS = Agricultural Research Service
AS = Academia Sinica; Agro Sava
ASA = American Society of Agronomy
AU = Aarhus Universitet
BC = Backcross
BFB = Breakage-Fusion-Bridge
BPGV-DRAEDM = Banco Português de Germoplasma Vegetal, Direção Regional
de Agricultura de Entre Douro e Minho
BSSS = Iowa Stiff Stalk Synthetic
CABI = Commonwealth Agricultural Bureaux International
CAES = Connecticut Agricultural Experiment Station
CAU = China Agricultural University
CBD = Corn Belt Dent
CC = Current Contents
CGIAR = Consultative Group for International Agricultural Research
CGRFA = Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture
CHD = Commercial Hybrid Derived
CHU = Corn Heat Units
CIAT = Centro Internacional de Agricultura Tropical
CIFOR = Center for International Forestry Resources
CIMMYT = Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
CIP = Centro Internacional de la Papa
CNRS = French National Centre for Scientific Research
COD = Clade-Oriented Database
CORPOICA = Corporacion Colombiana de Investigación Agropecuaria
CPGRD = Croatian Plant Genetic Resources Database
CRISPR = Clustered Regularly Interspaces Short Palindromic Repeats
CSHL = Cold Spring Harbor Laboratory
CSSA = Crop Science Society of America
CSTT = Catastrophic Sexual Transmutation Theory
DB = Database

DC = Double Cross
DDBJ = DNA Data Bank of Japan
DDG = Distillers Dried Grains
DH = Doubled Haploids
DIG = Database of Images and Genomes
DNK = Deoksiribonukleinska kiselina
DOE = Department of Energy
DUS = Distinctness, Uniformity and Stability
EBI = European Bioinformatics Institute
ECPGR = European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources
EMBL = European Molecular Biology Laboratory
EMBRAPA = Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EST = Expressed Sequence Tag
EURISCO = European Search Catalogue for Plant Genetic Resources
FAO = Food and Agriculture Organization
FAZOS = Fakultet Agrobiotehničkih Znanosti Osijek
G×E = Genotype × Environment Interaction
GCA = General Combining Abilities
GDB = Genomic Database
GDU = Growing Degree Units
GEM = Germplasm Enhancement of Maize
GM = Genetically Modified
GMO = Genetically Modified Organisms (hrv. genetički modificirani organizmi)
GRIN = Germplasm Resources Information Network
GS = Genomic Selection
GSA = Genetic Society of America
GSS = Genome Survey Sequence
GWAS = Genome-Wide Association Study
HAPIH = Hrvatska agencija za poljoprivredu i hranu
HHU = Heinrich Heine Universität Düsseldorf
HTGs = High Throughput Genomic sequences
HZAU = Huazhong Agricultural University
IBPGR = International Board for Plant Genetic Resources
ICAR = Indian Council for Agricultural Research
ICARDA = International Center for Agricultural Resources in the Dry Areas
ICGR-CAAS = Institute of Crop Germplasm Resources, Chinese Academy of Agricultural Science
ICRAF = International Centre for Research in Agroforestry (kasnije pod imenom WAC)
ICRISAT = International Crops Resources Institute for the Semi-Arid Tropics

ID = Iowa Dent
IF = Impact Factor
IFPRI = International Food Policy Resources Institute
IITA = International Institute of Tropical Agriculture
ILRI = International Livestock Resources Institute
INCDSB = Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Științe Biologice
INIFAP = Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
INRAE = National Research Institute for Agriculture, Food and Environment
IPGRI = International Plant Genetic Resources Institute
IPK = Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung
IRRI = International Rice Research Institute
ISU = Iowa State University
ITPGRFA = International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and
Agriculture
IU = Indiana University
IWMI = International Water Management Institute
JGI = Joint Genome Institute
JCVI = J. Craig Venter Institute
LAMP = Latin American Maize Project
LIMS = Laboratory Information Management System
LSC = Lancaster Sure Crop
MA = Maíz Amargo
MAGI Maize Assembled Genomic Island
MGC = Maize Genetics Cooperation, Inc.
MGCSC = Maize Genetics Cooperation Stock Center
MNL = Maize Genetics Cooperation Newsletter
MOD = Model Organism Database
MRIZP = Maize Research Institute Zemun Polje
MSBP = Millenium Seed Bank Partnership
NAS = National Academy of Sciences
NBPGR = National Bureau of Plant Genetic Resources
NC = North Carolina
NCBI = National Center for Biotechnology Information
NCGRP = National Center for Genetic Resources Preservation
NCRPIS = North Central Regional Plant Introduction Station
ND = North Dakota
NGS = Next Generation Sequencing
NIAS = National Institute of Agrobiological Science
NIL = Near Isogenic Line
NIH = National Institutes of Health

NLM = National Library of Medicine
NPGS = National Plant Germplasm System
NRC = National Research Council
NS = Novi Sad
NSF = National Science Foundation
OH = Ohio
OKS = Opće Kombinacijske Sposobnosti
OPV = Open Pollinated Variety
PCA = Principal Component Analysis
PIO = Poljoprivredni Institut Osijek
PKS = Posebne Kombinacijske Sposobnosti
PNAS = Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA
PVP = Plant Variety Protection
QTL = Quantitative Trait Loci
QU = University of Queensland
R&D = Research and Development
RBG = Royal Botanic Gardens
RIL = Recombinant Inbred Line
RNK = Ribonukleinska kiselina
RYD = Reid Yellow Dent
SAD = Sjedinjene Američke Države
SC = Single Cross
SCA = Specific Combining Abilities
SD = South Dakota
SDD = Stress Degree Days
SGSV = Svalbard Global Seed Vault
SJR = SCImago Journal Ranks
SKS = Specifične Kombinacijske Sposobnosti
SNP = Single Nucleotide Polymorphism
SR = Static Repository
SSR = Single Sequence Repeat
SSSA = Soil Science Society of America
STLT = Sexual Translocation Theory
TC = Testcross; Topcross
TPL = The Plant List
TUM = Technische Universität München
TWC = Three-way Cross
UA = Universiteit Antwerpen
UK = United Kingdom
UM = University of Missouri

UIUC = University of Illinois Urbana-Champaign
UMN = University of Minnesota
UNL = University of Nebraska Lincoln
USD = United States Dollar
USDA = United States Department of Agriculture
UW = University of Wisconsin
VIR = N. I. Vavilov Research Institute of Plant Industry
WAC = World Agroforestry Center (prvo pod imenom ICRAF)
WoS = Web of Science
WUR = Wageningen University & Research
ZP = Zemun Polje

Popis slika

U ovome popisu navedeni su nazivi i autori slika (uglavnom fotografije, ali i crteži i prikazi), a kod slika s više opisnog teksta opisi su zbog praktičnosti ovdje izostavljeni jer su u cijelosti vidljivi u glavnom tekstu knjige. Sve slike kod kojih nije posebno naznačeno autorstvo, djelo su autora knjige. Od 146 slika 27 ih je dobiveno zamolbom autora od suradnika i prijatelja, 12 je preuzeto iz literature, a 5 s internetskih platformi.

Slika 1. Bog kukuruza, Palacio de Gobierno, Aguascalientes, Meksiko (autor: Oswaldo Barra Cunningham, foto: Vanja Dušić, predgovor).

Slika 2. Egzotične populacije kukuruza (predgovor).

Slika 3. Klipovi kukuruza s komušinom (Biljana Smolčić, str. 4).

Slika 4. Rasprostranjenost kukuruza u svijetu po kontinentima u 2000. godini (izvor: NASA, Visible Earth, Global Maize 2000, str. 6,

https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/47000/47250/global_maize_2000_lrg.png).

Slika 5. Mladi kukuruz u proljeće - pojava ljubičaste boje na listovima (str. 18).

Slika 6. Pojava klipa na metlici (eng. tassel seed)... (str. 21).

Slike 7 - 9. Djelomični albinizam... (str. 21).

Slika 10. Potpuni albinizam... (str. 21).

Slike 11 - 12. Razne deformacije klipa, kao što su savijenost... (str. 22).

Slika 13. Klip kukuruza u presjeku... (str. 24).

Slika 14. Kljanje i nicanje (Vlatko Galić, str. 26).

- Slika 15.** Mlade, tek iznikle biljke kukuruza... (str. 26).
- Slike 16 - 17.** Prašenje metlice (lijevo); mlada svila na klip (str. 27).
- Slike 18 - 19.** Zrno u mliječnoj (lijevo) i punoj zriobi (Vlatko Galić, str. 28).
- Slika 20.** Mladi kukuruz u vegetaciji. (str. 32).
- Slika 21.** Glavni dijelovi zrna kukuruza: omotač, endosperm i klica... (str. 33).
- Slika 22.** Zrno kukuruza u presjeku (Vlatko Galić, str. 36).
- Slika 23.** Klip kukuruza s raznobojnim zrnima (str. 40)
- Slika 24.** Utjecaj poplavljenosti na usjev kukuruza... (str. 42).
- Slika 25.** Štete na kukuruzu nakon vrtložnog olujnog vjetra... (str. 42).
- Slika 26.** Ljubičasta boja biljaka u ranim razvojnim fazama... (str. 43)
- Slika 27.** Tip kukuruza s užim, uspravnijim listovima... (str. 44).
- Slika 28.** Korovi u kukuruzu (str. 46).
- Slika 29.** Strnište nakon žetve žitarica i baliranja slame... (str. 48).
- Slika 30.** Soja u vegetaciji; zaoravanje žetvenih ostataka... (str. 48).
- Slika 31.** Višegodišnje i jednogodišnje krmne kulture... (Svetislav Popović, str. 48).
- Slika 32.** Predsjetvena priprema tla rotacijskom drljačom... (str. 49).
- Slike 33 - 34.** Rubna kloroza (gornja slika) upućuje na nedostatak kalija... (str. 50).
- Slika 35.** Sjetva inbred linija za sjemensku proizvodnju... (Ersan Atakul, str. 51).
- Slika 36.** Sjetva ručnim sijačicama ili planterima... (str. 52).
- Slike 37 - 39.** Neki od najčešćih korova na kukuruznim poljima... (str. 53).
- Slike 40 - 42.** Sirak (gore lijevo) često ostaje u polju i u kasnijim... (str. 54).
- Slika 43.** Kombinirani napad štetnika i bolesti... (str. 55).
- Slika 44.** Štete na korijenu nakon hranjenja ličinki kukuruzne zlatice (str. 55).
- Slika 45.** Kukuruzna zlatica na klip (str. 56).
- Slika 46.** Ličinke kukuruznog moljca u potpuno uništenoj stabljici (str. 56).
- Slike 47 - 48.** Mjehurasta snijet na kukuruzu... (str. 56).
- Slike 49 - 52.** Vretence (lijevo gore), zeleni konjic (lijevo sredina)... (str. 57).
- Slike 53 - 56.** Pčela skuplja cvjetni prah s metlice kukuruza... (str. 58).
- Slika 57.** Navodnjavanje u kanale (Buin, Čile)... (str. 59).
- Slika 58.** Glavni kanal za navodnjavanje (Adana, Turska)... (str. 59).
- Slike 59 - 60.** Žetva četverorednim kombajnom (lijevo)... (str. 60).
- Slika 61.** Žetva četverorednim kombajnom, pražnjenje koša... (str. 61).
- Slike 62 - 63.** Ručna berba selekcijskog polja... (str. 61).
- Slike 64 - 65.** Sjemenska proizvodnja hibrida... (Hrvoje Plavšić)... (str. 62).
- Slika 66.** Čaša napravljena od kukuruza, Sveučilište u Kaliforniji... (str. 65).
- Slika 67.** Hibridi crvenog, žutog i bijelog zrna (str. 67).
- Slika 68.** Klipovi kukuruza nakon berbe (str. 70).
- Slika 69.** Pojednostavljeni dendrogram koji pokazuje genetičku povezanost teozinta... (preuzeto iz Hart i sur. 2011., a prema Doebley i Iltis 1980.)... (str. 73).

- Slika 70.** Razlika između vrsta i podvrsta unutar roda *Zea*... (preuzeto iz Doebley 1990., a prema Doebley i sur. 1984., str. 74).
- Slika 71.** Domestikacija kukuruza i najčešća pitanja... (str. 80).
- Slika 72.** Na slici lijevo je rekonstruirani klip primitivnog kukuruza ... (autor: John Doebley, preuzeto iz Doebley 2004.)... (str. 81).
- Slika 73.** Područje na kojemu je započela domestikacija kukuruza... (preuzeto iz Piperno 2001., str. 83).
- Slika 74.** Teozinta (1), primitivni kukuruz (2) i današnji kukuruz (3) (autor W. C. Galinat, preuzeto iz Galinat 1988.)... (str. 89).
- Slika 75.** Utjecaj umjetne selekcije na frekvenciju različitih kategorija gena u populaciji... (Yamasaki i sur. 2005.)... (str. 93).
- Slika 76.** Razne miješane populacije podrijetlom iz Hrvatske, Meksika... (str. 101).
- Slika 77.** Pruge na listovima mladog kukuruza (str. 104).
- Slike 78 - 79.** Teotihuacan (Mjesečeva piramida; lijevo) i Cuzco (pogled na grad i glavni trg) (Domagoj Šimić, str. 106).
- Slika 80.** Uzgoj usjeva u milpa sustavu: tri glavne kulture, tzv. tri sestre... (autorica: Isabelle Fragniere, preuzeto sa stranice Wikimedia Commons, str. 107, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Association_culturale_ma%C3%AFs-Haricot_Courge_dans_la_r%C3%A9gion_du_Mixtepec_au_Mexique.JPG).
- Slika 81.** Kultura Huastec iz obalnog područja Meksičkog zaljeva; muškarci rade u polju, a žene prave... (autor: Diego Rivera, preuzeto sa stranice Wikiart, str. 109, <https://www.wikiart.org/en/diego-rivera/the-huastec-civilisation-1950>).
- Slika 82.** *Boot in den chinampas*, uslikano 1912. godine (autor: Karl Weule, izvor: Karl Weule – *Leitfaden der Voelkerkunde*, Leipzig 1912, preuzeto sa stranice Wikimedia Commons, str. 110, <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Chinampas.jpg>).
- Slika 83.** Središte Astečkog carstva u prvoj polovini 16. stoljeća... (preuzeto iz Staller 2010., Fig. 2.15., p. 39, str. 111).
- Slika 84.** Veličanstvena astečka prijestolnica Tenochtitlán... (mural na Nacionalnoj palači u Mexico Cityju naslikan 1945. godine; autor slike: Diego Rivera, *La gran Tenochtitlan*, preuzeto sa stranice Wikimedia Commons, str. 111, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:La_Gran_Tenochtitlan.JPG).
- Slika 85.** Pogled iz čamca pri obilasku kanala za navodnjavanje, karakteristični izgled chinampa vrta, Xochimilco, Meksiko (Domagoj Šimić, str. 112).
- Slika 86.** Polja za uzgoj usjeva u podnožju brda u današnje vrijeme i ostatci nekadašnjih terasa na padinama, Peru (Domagoj Šimić, str. 112).
- Slike 87 - 88.** Vijugava cesta u čileanskim Andama... (str. 113).
- Slika 89.** Tipični krajolik u Peruu... (Domagoj Šimić, str. 114).
- Slika 90.** Osim uzgojem biljnih vrsta narodi Anda bavili su se... (str. 114).
- Slika 91.** Bijeli osmoredac, jedna od najraširenijih starih sorata... (str. 121).

- Slika 92.** Klipovi kokičara, Poljoprivredni institut Osijek (str. 123).
- Slika 93.** Bijeli zuban, Slavonija (str. 124).
- Slika 94.** Klip kukuruza u punoj zriobi, Altinova, Turska (str. 132).
- Slike 95 - 96.** Kokičar (lijevo) i šećerac (Tatjana Ledenčan, str. 134).
- Slika 97.** Neki od glavnih tipova zrna (preuzeto iz Brunson i Richardson 1958., str. 135).
- Slika 98.** Varijabilnost kukuruza po boji i veličini klipova... (str. 142).
- Slika 99.** Tipičan krajolik Srednjeg zapada, Iowa (str. 143).
- Slike 100 - 102.** Nepoznate američke populacije... (str. 145).
- Slika 103.** Hibridi kukuruza standardnog žutog te crvenkastog i bijelog... (str. 147).
- Slika 104.** Mlada svila u vegetaciji (str. 148).
- Slika 105.** Shema klasičnog oplemenjivanja kukuruza pedigre... (str. 152).
- Slike 106 - 107.** Izolacija metlice i klipa prije oprašivanja... (str. 153).
- Slika 108.** Inbred linija A632 (str. 154).
- Slika 109.** Podrijetlo važnijih sorata i heterotičnih skupina dobivenih iz sorte Reid Yellow Dent (prema Troyeru 2009., str. 157).
- Slike 110 - 112.** Inbred linije Oh43 (lijevo), C103 (sredina)... (str. 158).
- Slike 113 - 115.** Najvažnije familije heterotične skupine BSSS... (str. 159).
- Slike 116 - 119.** Neke inbred linije Poljoprivrednog instituta Osijek u tipu Iowa Stiff Stalk... (Josip Brkić, str. 160).
- Slika 120.** Još jedan primjer velike varijabilnosti kukuruza... (str. 162).
- Slika 121.** Načini uvođenja novih svojstava u adaptirane populacije germplazme, prema Simmondsu (1993.) (str. 163).
- Slika 122.** Neke inbred linije u tipu žutog zubana... (str. 165).
- Slika 123.** Početak sušnog razdoblja vidljiv je kroz sušenje donjih listova (str. 166).
- Slika 124.** Populacije egzotičnog izgleda i velikoga klipa... (str. 172).
- Slika 125.** University of Missouri, Tiger Plaza (Jon J. Tollefson, str. 174).
- Slika 126.** Beardshear Hall, Iowa State University, Ames, Iowa (str. 176).
- Slika 127.** Rani genetičari koji su provodili istraživanja na kukuruzu (prema Coe 2001. i Sturtevant 1965.) (str. 178).
- Slika 128.** Neki od najvažnijih istraživača u genetici i oplemenjivanju kukuruza u 20. stoljeću (preuzeto iz Peterson 1999., Fig. 24, p. 82)... (str. 187).
- Slika 129.** Klipovi iz raznih populacija podrijetlom iz Hrvatske... (str. 199).
- Slika 130.** Zaražavanje klipova kukuruza otopinom... (Vlatko Galić, str. 200).
- Slika 131.** Sekundarni porast korijena oštećene biljke... (str. 200).
- Slika 132.** Ispitivanje reakcije mladih biljaka na sušne uvjete (str. 201).
- Slika 133.** Mjerenje svježih masa mladih biljaka (str. 201).
- Slika 134.** Berba pokusa kukuruza šećerca (Tatjana Ledenčan, str. 202).
- Slika 135.** Klipovi kukuruza šećerca (Tatjana Ledenčan, str. 204).

Slika 136. Dio kolekcije kukuruza, banka gena IPK Gatersleben (Tomas David Lomas Cano)... (str. 211).

Slika 137. Dio kolekcije kukuruza, banka gena IPK Gatersleben (Derya Taşçılar)... (str. 211).

Slika 138. Razne populacije podrijetlom iz Hrvatske, Meksika i SAD-a (str. 213).

Slika 139. Klipovi iz raznih miješanih populacija zorno prikazuju raznolikost kukuruza (str. 217).

Slika 140. Dva velika klipa (Indian Corn) raznobojnih zrna (str. 218).

Slika 141. Odnosi između raznih skupina germplazme kukuruza (str. 222).

Slika 142. Metlica kukuruza u polinaciji (str. 234).

Slika 143. Klip kukuruza hibrida Albayrak, Altinova, Turska (str. 280).

Slika 144. Mladi kukuruz u proljeće (str. 292).

Slika 145. Klipovi miješanih populacija kukuruza (Zahvale).

Slika 146. Bale slame s kukuruzom u pozadini.

Popis tablica

Tablica 1. Četiri najviše proizvođene kulture u svijetu (str. 5)

Tablica 2. Proizvodnja zrna kukuruza u svijetu u razdoblju od 2008. do 2021. godine (str. 7)

Tablica 3. Petnaest najvećih proizvođača kukuruza u svijetu: proizvodne površine, proizvedena količina i prinos zrna (od 2017. do 2021. godine) (str. 8)

Tablica 4. Proizvodne površine, proizvodnja i prinos zrna kukuruza u nekim zemljama svijeta u usporedbi s Hrvatskom (od 2017. do 2021. godine) (str. 9)

Tablica 5. Prosječni prinos zrna po jedinici površine u razdoblju od 2017. do 2021. godine (str. 11)

Tablica 6. Proizvodnja kukuruza u nekim državama u odnosu na broj stanovnika u 2017. godini (str. 12)

Tablica 7. Proizvodnja raznih ratarskih usjeva, voća i povrća u svijetu u usporedbi s kukuruzom (od 2017. do 2021. godine) (str. 13)

Tablica 7. (nastavak) Proizvodnja raznih ratarskih usjeva, voća i povrća u svijetu u usporedbi s kukuruzom (od 2017. do 2021. godine) (str. 14)

Tablica 8. Proizvodnja kukuruza na svim kontinentima i u nekim specifičnim svjetskim regijama 1961. i 1991. te danas (od 2017. do 2021. godine) (str. 15)

Tablica 9. Prinos nekih važnih kultura u odnosu na kukuruz u Sjedinjenim Državama i svijetu (od 2017. do 2021. godine) (str. 16)

- Tablica 10.** Varijabilnost nekih svojstava kod kukuruza (str. 20)
- Tablica 11.** Razvojne faze biljke kukuruza (str. 25)
- Tablica 12.** Fenološke faze kod kukuruza (str. 29)
- Tablica 13.** Faze rasta i razvoja kukuruza prema BBCH ljestvici (str. 30-31)
- Tablica 14.** Analiza kemijskog sastava zrna hibrida tvrdunca Tvrtko 303 (str. 34)
- Tablica 15.** Sastav suhe tvari u zrnu kukuruza, prosječne vrijednosti uzoraka sedam hibrida u tipu žutog zubana (str. 35)
- Tablica 16.** Sastav zrna 14 osječkih hibrida kukuruza (str. 36)
- Tablica 17.** Sadržaj glavnih sastavnih dijelova zrna kukuruza (str. 37)
- Tablica 18.** Sastav minerala u zrnu kukuruza (str. 37)
- Tablica 19.** Sastav vitamina i pigmenata u zrnu kukuruza (str. 38)
- Tablica 20.** Sastav lipida u zrnu kukuruza (str. 39)
- Tablica 21.** Sastav aminokiselina u zrnu kukuruza (str. 39)
- Tablica 22.** Količina hraniva u zrnu i ostacima (lišće, kukuruzovina, ostatci stabljike) koju kukuruz iznese iz tla nakon berbe (str. 45)
- Tablica 23.** Upotreba kukuruza za prehranu ljudi i hranidbu domaćih životinja (str. 68)
- Tablica 24.** Upotreba kukuruza (ostale namjene osim za hranu) (str. 69)
- Tablica 25.** Sistematska pripadnost kukuruza u biljnom carstvu (str. 72)
- Tablica 26.** Nazivi za kukuruz na nekim jezicima u Americi (str. 75)
- Tablica 27.** Nazivi za kukuruz u nekim europskim jezicima (str. 76)
- Tablica 28.** Nazivi za kukuruz u nekim azijskim, afričkim i austronezijskim jezicima (str. 77)
- Tablica 29.** Neki od važnijih gena uključenih u proces domestikacije (str. 92)
- Tablica 30.** Osnovne morfološke razlike između teozinte i kukuruza (str. 95)
- Tablica 31.** Podjela kukuruza po tipu zrna (str. 133)
- Tablica 32.** Rase kukuruza u svijetu sedamdesetih godina 20. stoljeća (str. 136)
- Tablica 33.** Podjela germplazme kukuruza po heterotičnim grupama ili familijama inbred linija prema raznim autorima (str. 159)
- Tablica 34.** Najveće banke germplazme u svijetu (str. 212)

Popis grafikona

Grafikon 1. Godišnja proizvodnja zrna kukuruza u Hrvatskoj od 2008. do 2021. godine; u petogodišnjem razdoblju od 2008. do 2012. godine proizvodnja opada, što kulminira najvećim padom u 2012. godini, nakon čega (uz nešto slabiju 2017. godinu) lagano raste (str. 9).

Grafikon 2. Države s najvišim prinosom zrna po jedinici površine u svijetu (prosječna vrijednost u razdoblju od 2017. do 2021.); u obzir su uzete samo države s proizvodnjom većom od 1,25 milijuna tona prema dugogodišnjem prosjeku (Tablica 2) (str. 10).

Grafikon 3. Namjena kukuruza u Sjedinjenim Američkim Državama od 1985. do 2017. godine (izraženo u postotcima) (str. 64).

Grafikon 4. Proizvodnja kukuruza u Aziji (prosjek pet godina, 2017. - 2021.) (str. 126).

Grafikon 5. Proizvodnja kukuruza u Aziji bez Kine (prosjek pet godina, 2017. - 2021.) (str. 127).

Grafikon 6. Proizvodnja kukuruza u Africi (prosjek pet godina, 2017. - 2021.) (str. 128).



Kazalo važnijih pojmova

U ovome kazalu naglasak je dodatno stavljen na pojmove iz drugog i trećeg poglavlja te iz pojmovnika na kraju knjige. Označene su uglavnom stranice na kojima su pojmovi detaljnije objašnjeni, ne sve stranice na kojima se sama riječ spominje.

Adaptabilnost	226
Adaptacija (v. prilagodba)	226
Aleli	170
Baze podataka	192, 193, 194, 195
Berba	60, 61, 227
Biljni genetički izvori	205, 226
Biljni model	167
Bolesti	55, 56
<i>Chinampa</i>	110, 111, 112
Divlji srodnici	221, 222
DNK	172, 219, 220
Domestikacija	79, 80, 221
Dupli haploidi	151
Elitna germplazna	141, 142, 155, 163, 164, 165
Egzotična germplazma	141, 142, 155, 163, 164, 165
Epigenetika	172
<i>Ex-PVP</i>	153, 164, 231
FAO skupine	47
Fenološke faze kukuruza	25, 26, 27, 28, 29, 30, 31
Fenotip	219
Fenotipska varijanca	226
Gamete	170
Gen	170, 220
Gen-banke	207, 208, 209, 210, 211, 212, 213
Gen-centri	84, 221
Genetička erozija	226
Genetička različitost (raznolikost)	196, 226
Genetička varijanca	226

Genetički	220
Genetički modificirane biljke	197
Genetski	220
Genom	170, 221
Genotip	219
Germplazma	219
Gnojdba	50
Hardy-Weinbergov zakon ravnoteže	171
Heterotične skupine	156, 157, 158, 159, 160, 161, 162
Heterotični obrasci	156, 157, 158, 159, 160, 161, 162
Heterozigot	170
Heterozis	171, 228
Hibrid	222, 225, 228
Homozigot	170
Hraniva	45
Inbred linija	152, 153, 154, 222, 224, 225
Inkorporacija	163
Integracija	163
Interakcija genotipa i okoline	197, 198, 226
Introdukcija	163
Introgresija	163
Klip	24
Kombinacijske sposobnosti	150, 151, 225
Korijen	22
Korovi	53, 54
Kromosomi	169
Kukuruz tropskih područja	141, 142, 164
Kukuruz umjerenih područja	141, 142, 164
Kukuruz za posebne namjene	66, 68, 69
Kukuruzni pojas	144
Kultivar	221, 222, 231
Kvantitativna svojstva	170
List	23
Mapiranje lokusa kvantitativnih svojstava	196, 197
Mejoza	170

Mendelovi zakoni nasljeđivanja	169
Merkantilni kukuruz	35, 228, 229
Metlica	23
Mezoamerika	84, 107
<i>Milpa</i>	107, 108, 109
Mitoza	170
Moderna sinteza	172
Namjena	232
Navodnjavanje	59
Obrada tla	49
Okolinska varijanca	226
Oplemenjivanje kukuruza	149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 171
Otpuštanje vlage	232
Pedigre metoda	151
Pleiotropija	170
Plodored	48
Poljoprivreda	230, 231
Populacija	150, 222, 223, 224
Populacijska genetika	170, 171
Postrna sjetva	232
Predoplemenjivanje	165
Predkulture	48
Prilagodba	226
Prirodni odabir (selekcija)	221
Priznavanje kultivara	231
Rani test	150
Rase kukuruza	133, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142
Sadnja	227, 232
Samooplodnja	150, 171
Sekvencioniranje genoma	196
Simulacijski modeli	198
Sistematika	71, 72, 73, 74
Sjeme	227
Sjemenarstvo	62, 151
Sjemenski kukuruz	62, 228, 229

Sjetva	51, 52, 227, 232
Sklop	52
Sorta	222, 223, 228, 231
Srednji zapad	143, 144
Stabljika	22, 23
Stranooplodnja	171
Stvaranje kultivara	231
Svilanje	27
Štetnici	54, 55
Teorija evolucije	168, 169
Teozinta	72, 73, 74
Test-križanci	225
Toplinske jedinice	43, 47, 51
Upotreba kukuruza	63, 64, 65, 66, 68, 69
Varijabilnost	226
Variranje	226
Vlaga zrna	27, 28, 60
Zimska generacija sjemena	151
Znanstveni časopisi	190, 191
Znanstveni skupovi	188, 189, 190
Zrioba	28
Zrno	33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 227
Žetva	227

Životopis



Andrija Brkić rođen je 25. 11. 1980. godine u Osijeku. Osnovnu školu pohađao je u Tenji i Osijeku. Opću gimnaziju završio je u Osijeku, a nakon toga upisao se na Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, gdje je diplomirao 2006. godine (dodiplomski studij, ratarski smjer).

Za vrijeme studija u nekoliko navrata dobio je državnu stipendiju za nadarene studente, a dobio je i Rektorovu nagradu (2002.), nagradu *Lions Cluba* za najbolje studente sveučilišta (2003.) te nagradu za najbolju prezentaciju na međunarodnom skupu studenata u Debrecenu (2002.). U dva navrata obavljao je stručnu praksu u Sjedinjenim Američkim Državama na Sveučilištu u Amesu, Iowa (*Iowa State University*), oba puta u trajanju od dva mjeseca na programima vezanim uz kukuruznu zlaticu (*ISU Internship Program* 2003. i *Corn Project* 2004. godine). Isto tako, za vrijeme studija bio je demonstrator iz predmeta *Kemija* te je s Katedrom za entomologiju u više navrata sudjelovao u terenskom radu u sklopu raznih projekata. Nekoliko godina radio je kao novinar i urednik studentskog časopisa *Fenix*.

Nakon diplome zaposlio se na Poljoprivrednom institutu Osijek kao znanstveni novak na Odjelu za oplemenjivanje i genetiku kukuruza, a 2007. godine upisao je poslijediplomski doktorski studij, smjer *Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo* na Poljoprivrednom fakultetu u Osijeku. Od početka svoga djelovanja na institutu redovno sudjeluje na znanstvenim i stručnim skupovima u Hrvatskoj i inozemstvu – Göttingen, Njemačka; Piešťany, Slovačka; München, Njemačka; Opatija; Istanbul, Turska; Dubrovnik; Almería, Španjolska; Bruxelles, Belgija; Freising, Njemačka; Vodice i drugi. U razdoblju od 2008. godine do danas kontinuirano je sudjelovao u postavljanju pokusa u Turskoj, kao i u ostalim aktivnostima tamošnje oplemenjivačke stanice (sjetva, berba, pregled pokusa, selekcije i sjemenske proizvodnje), prolazeći svo-

jevrnsno usavršavanje na području oplemenjivanja bilja i sjemenarstva. Doktorsku disertaciju obranio je 2012. godine, početkom 2013. godine ušao je u zvanje znanstveni suradnik, 2018. godine u zvanje viši znanstveni suradnik te 2022. u zvanje znanstveni savjetnik. U svrhu znanstveno-stručnog usavršavanja od 2011. do 2013. godine pohađao je Europsku akademiju za oplemenjivanje bilja (*UC Davis European Plant Breeding Academy*), koju je nakon šest sekcija (Belgija, Francuska, Njemačka, Nizozemska, Španjolska, California-SAD) uspješno završio. U svrhu specijalizacije pohađao je i PBA Advanced Module 2015. godine u Španjolskoj (Almería).

Na svome radnom mjestu uključen je u sve glavne aktivnosti s ciljem stvaranja i poboljšavanja inbred linija i hibrida kukuruza, uključujući nadzor zimske generacije u Čileu i Meksiku te suradnju s drugim znanstvenim, oplemenjivačkim i sjemenarskim institucijama u Hrvatskoj i svijetu (Srbija, Rumunjska, Mađarska, Španjolska, Turska, Japan i druge zemlje). Ostale aktivnosti na odjelu uključuju znanstvena istraživanja, objavljivanje radova u relevantnim znanstvenim časopisima, stručna predavanja studentima i suradnicima s drugih znanstvenih i stručnih institucija te popularizaciju znanosti kroz članke u stručnim časopisima, promocije i gostovanja u medijima. Autor je ili suautor 36 znanstvenih radova, 32 hibrida kukuruza i jedne knjige za popularizaciju znanosti. Prema Odluci o dodjeli državnih nagrada za znanost za 2022. godinu Ministarstva znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske, nagrađen je Godišnjom nagradom za popularizaciju i promidžbu znanosti u području biotehničkih znanosti.

Oženjen je i otac troje djece. U slobodno vrijeme bavi se plesom (*ŠPU Feniks, CubOs*), pisanjem, čitanjem, nogometom i drugim aktivnostima.

Zahvale

Poljoprivredni institut Osijek izdavač je ove knjige, stoga ravnatelju *Zvonimiru Zduniću*, bivšem predstojniku *Ivanu Brkiću* te sadašnjem predstojniku *Antunu Jambroviću* puno hvala na prihvaćanju i podršci.

Zahvala ide i *Ministarstvu znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske* koje je sufinanciralo izdavanje ove knjige.

Recenzenti - Vlatko Galić, Mirta Rastija, Violeta Anđelković i Ivica Buhiniček - hvala im jer su dobro obavili svoj posao, dali meni još dodatnog posla i učinili ovu knjigu daleko boljom.

Domagoj Šimić – hvala na puno korisnih savjeta oko sadržaja i strukture.

Aleksandra Sudarić – hvala na podršci i pomoći oko mnogobrojnih aktivnosti nakon pisanja i uređivanja.

Odjel za oplemenjivanje i genetiku kukuruza – hvala svima s odjela na svakodnevnoj suradnji i pomoći. Timski rad svih djelatnika desetljećima omogućuje uspješno funkcioniranje odjela, nadam se da će tako ostati i u budućnosti. Iako nisam planirao nikoga posebno isticati, ipak ću navesti dva imena. *Vlatko Galić* i *Miroslav Salaić* po dolasku na institut u rekordnom su se roku integrirali u rad kukuruznog odjela i nesebičnim zalaganjem na više polja pokazali kako pojedinac može učinkovito pridonositi sustavu. To je za svaku pohvalu.

Hvala svima na institutu koji su makar i moralnom podrškom pridonijeli izdavanju ove knjige.

Biljana Smolčić – hvala na stalnoj podršci i suradnji u vidu vrijednih i jedinstvenih slika.

Vanja Dušić – puno hvala za informacije, slike i puno korisnih prijedloga nakon detaljnog pregleda rukopisa. Morat ćemo pojačati zalihe *Lavive*.

Obitelj Valentić – veliko hvala mojoj drugoj obitelji jer su uvijek tu za mene.

Obitelj

Mama, tata, Josip,

Ivana, Lovro, Gabrijela i Laura.

Neka nam je još puno ovakvih godina.



