



## Proizvodnja kukuruza u uslovima globalnih klimatskih promena

Goran Bekavac · Božana Purar · Đorđe Jocković · Milisav Stojaković ·  
Mile Ivanović · Goran Malidža · Ivica Đalović

primljeno / received: 30.04.2010. prihvaćeno / accepted: 25.05.2010.  
© 2010 IFVC

**Izvod:** Klimatske promene i očekivana varijabilnost klimatskih parametara predstavljaju ozbiljan izazov za poljoprivredu 21. veka. Na globalnom nivou, očekuje se porast temperature vazduha, promene količine i rasporeda padavina, povećanje varijabilnosti klimatskih parametara i pojava ekstremnih klimatskih događaja. U cilju izbegavanja, ili barem redukovanja negativnih efekata globalnih klimatskih promena, predloženo je nekoliko adaptacionih strategija. Kao dve najznačajnije mere adaptacije predlažu se prilagođavanje tehnologije proizvodnje i oplemenjivanje biljaka na tolerantnost prema izmenjenim uslovima spoljašnje sredine.

**Ključne reči:** klima, kukuruz, oplemenjivanje

### Uvod

Poljoprivredna proizvodnja se duži niz godina suočava sa brojnim izazovima prouzrokovanim globalnim klimatskim promenama. Međunarodni panel o klimatskim promenama u svom četvrtom izveštaju o proceni promene klime iz 2007. predviđa dalji porast temperature, promene količine i rasporeda padavina, povećanje varijabilnosti klimatskih parametara i pojavu ekstremnih klimatskih događaja, kao što su suše, poplave i olujni vetrovi. Ukoliko koncentracija gasova staklene bašte nastavi sa rastom, mogao bi se očekivati još dramatičniji porast temperature (za 1,1°C do 6,2°C) do kraja ovog veka (IPCC WGI 2007). Iako su promene klime na globalnom nivou primećene još pre nekoliko desetina godina (National Science Board U.S. 1974), iako su dobro poznati uticaji istih na gajene kulture, stočni fond, hidrološki balans, agrarna ulaganja, proizvodne resurse i druge komponente agroekosistema (Adams et al. 1998), svest o problemima i posledicama klimatskih promena na poljoprivredu je i dalje nedovoljno nerazvijena, ulaganja u rešavanje problema nesrazmerna, a sistematska multidisciplinarna istraživanja prisutna samo u najrazvijenijim zemljama.

### Klima i kukuruz

Kukuruz kao C<sub>4</sub> biljka ima veći temperaturni optimum od C<sub>3</sub> biljaka i bolje podnosi visoke temperature. Ipak, kritični period u kojem su biljke kukuruza naročito osetljive na visoke temperature i nedostatak vode od velikog je značaja za formiranje prinosa. Kraći periodi ekstremnih temperatura praćeni sušom u periodu cvetanja imaju daleko pogubniji efekat na prinos od globalnih promena srednjih temperatura u dužem vremenskom intervalu (Sage & Kubien 2003). Visoke temperature i druge vrste abiotičkog stresa utiču na smanjenje količine vlage u zemljištu, pojavu suše, ubrzano starenje biljke, sušenje polena, slabiju oplodnju i smanjenje prinosa (Zaidi 2002). Povišena radijacija stimuliše asimilaciju listova i povećava prinos, ali povećava i evapotranspiraciju, što se u uslovima ograničene obezbeđenosti biljaka vodom može negativno odraziti na prinos. Promene u režimu padavina imaju veliki uticaj ne samo na prosečan prinos kukuruza, nego i na stabilnost prinosa, koji se smanjuje shodno opadanju srednjih vrednosti sezonskih padavina i porastu varijabilnosti istih. Osetljivost agroekosistema na promene klime specifična je za lokalitet i zavisi od postojanja jednog ili više limitirajućih faktora (vodni deficit, visoke temperature, hemijske i fizičke karakteristike zemljišta) i ravnoteže, odnosno izbalansiranosti samog sistema (von Braun 2007). Rezultati dosadašnjih istraživanja pokazuju da se pozitivan

G. Bekavac (✉) · B. Purar · Đ. Jocković · M. Stojaković · M. Ivanović · G. Malidža · I. Đalović  
Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Maksima Gorkog 30, 21000 Novi Sad, Srbija  
e-mail: goran.bekavac@ifvcns.na.ac.rs

efekat klimatskih promena na prinos kukuruza može očekivati samo u severnijim i hladnijim proizvodnim regionima, što pruža mogućnost širenja površina pogodnih za gajenje kukuruza ka severu, dok bi većina regiona južne Evrope mogla osetiti manje ili veće gubitke prinosa (Olesen et al. 2007, Zaidi 2002). Prema rezultatima brojnih klimatskih modela, južni delovi kontinenta bi se mogli suočiti sa vodnim deficitom i čestim vremenskim ekstremima. Bez primene odgovarajućih mera adaptacije, moglo bi doći do variranja i značajnog pada prosečnih prinosa, kao i redukcije površina pogodnih za gajenje useva. Na bazi porasta temperature za 5°C i smanjenja količine padavina u toku letnjih perioda, može se očekivati pad prinosa kukuruza za 10%, čak i kada se uzme u obzir pozitivan efekat duplo veće koncentracije CO<sub>2</sub> (Torriani et al. 2007).

U svetu se izvodi veliki broj istraživanja o uticaju klimatskih promena na rast i razvoj kukuruza primenom simulacionih modela poput CERES-Maize, WOFOST, MACROS i EPIC (Travasso et al. 2009, Zalud & Dubrovsky 2002, Jones & Thornton 2003, Meza et al. 2008, Torriani et al. 2007, Tsvetsinskaya et al. 2003, Mera et al. 2006, Abraha & Savage 2006, Erda et al. 2005, Trolove et al. 2008). Modeli obrađuju podatke o genotipu, karakteristikama zemljišta, agrotehničkim operacijama i vrednostima osmatranih vremenskih parametara (koncentracija CO<sub>2</sub> i serija dnevnih vremenskih parametara) koji se prethodno modifikuju u skladu sa jednom ili više scenarija klimatskih promena (SRES A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, GCM). Simulacioni modeli se izvode za set nelimitiranih uslova (u kojima nivo snabdevenosti vodom i hranivima ne ometa razvoj useva) i set limitiranih uslova (nedovoljna obezbeđenost vodom i hranivima) (Zalud & Dubrovsky 2002). Rezultati većeg broja modela ukazuju na uglavnom negativan uticaj klimatskih promena na prinos zbog skraćivanja fenoloških faza razvoja kukuruza u uslovima povišenih temperatura. Travasso et al. (2009) prognoziraju variranje prinosa kukuruza u Argentini od +46% do -17%, u zavisnosti od scenarija klimatskih promena i od toga da li je efekat CO<sub>2</sub> uzet u obzir. Prema istim autorima, povišene temperature bi mogle skratiti vegetacioni period kukuruza za 27 dana, što za posledicu može imati smanjenje prinosa. Do sličnih zaključaka došli su takođe Zalud & Dubrovsky (2002) primenom simulacionog modela u proizvodnim uslovima Češke, predviđajući kretanje prinosa kukuruza od +18% do -29% i skraćivanje vegetacionog perioda za jedan mesec. Ispitivanja klimatskih parametara u Srbiji pokazuju da je u poslednjih 50 godina došlo do

progresivnog produženja sušnih perioda, povećanja temperature, smanjenja količine padavina i povećanja površina semiaridnih oblasti, pre svega u severoistočnim delovima Republike. Osim toga, došlo je do povećanja broja tropskih dana (sa maksimalnom temperaturom iznad 30°C) kao i smanjenja broja mraznih dana (sa minimalnom temperaturom ispod 0°C). Neki regionalni klimatski modeli predviđaju da bi do 2100. maksimalne temperature vazduha mogle porasti za 2,6-2,8°C u odnosu na maksimalne temperature vazduha s kraja prošlog veka, što bi moglo imati snažne implikacije na agroekosisteme, kako u nas tako i u okruženju. Pri primeni sadašnjih agrotehničkih i drugih mera gajenja, prema tri scenarija klimatskih promena prinos kukuruza u Grčkoj bi se mogao smanjiti za 4,5-8,5% pri porastu temperature za 2°C, odnosno za 4,3-14% pri porastu temperature za 4°C u zavisnosti od lokacije (Kapetanaki & Rosenzweig 1997). Ne uzimajući u razmatranje mogućnost adaptacije, Torriani et al. (2007) utvrdili su očekivani pad prosečnog prinosa u Švajcarskoj sa 8,5 t ha<sup>-1</sup> na 7,3 t ha<sup>-1</sup>. Simulirani prinos kukuruza u Južnoj Africi raste pri duplo većoj koncentraciji CO<sub>2</sub> i pri porastu temperature za 2°C, ali se smanjuje pri porastu temperature za 4°C (Abraha & Savage 2006). Projektovani prosečni prinosi kukuruza u Kini u uslovima suvog ratarenja i navodnjavanja u narednih 20-80 godina mogli bi opasti za 37% zbog skraćivanja vegetacionog perioda u uslovima povišenih temperatura, dok bi u Čileu u zavisnosti od scenarija, primenjenih mera adaptacije i hibrida, sniženje prosečnih prinosa moglo iznositi 14% do 28%. Smanjenje prinosa kukuruza u zemljama Latinske Amerike prema podacima Adams et al. (1998) moglo bi se kretati od -61% u Meksiku do -2% u Brazilu. Iako rezultati istraživanja Jones & Thornton (2003) ukazuju na smanjenje proizvodnje kukuruza u Africi i Latinskoj Americi do 2055. godine za samo 10% u odnosu na 2000. godinu, ovaj procenat je ekvivalentan gubitku od 2 milijarde dolara godišnje.

### Klima i bolesti

Osim uticaja na samu biljku, klimatske promene bi mogle dovesti do ekspanzije već postojećih prouzrokovala bolesti i/ili introdukciju novih, kserofilnih vrsta na dva načina: postepenim promenama klime, menjajući distribuciju vektora biljnih bolesti ili povećavajući vodni i temperaturni stres biljaka i frekventnijim pojavama ekstremnih vremenskih prilika, neuobičajenih za dato područje. Blaže zime, više noćne tempe-

rature i više srednje dnevne temperature bi povećale prezimljavanje patogena, ubrzale životni ciklus vektora i patogena, sporulaciju i infekciju folijarnim gljivama. Česte i ekstremne količine padavina koje se predviđaju po nekim modelima mogu imati uticaj na periode povoljne za razvoj bolesti, pre svega zbog visoke relativne vlage u biljnom sklopu (Gregory 2009). Efikasnost fungicida i baktericida bi u novonastalim uslovima mogla biti umanjena, jer česte padavine dovode do ispiranja kontaktnih preparata i shodno tome potrebe za češćim tretmanima (Petzoldt & Seaman 2006).

Visoke temperature i sušni uslovi mogu uticati na pojavu truleži klipa kukuruza i stvaranje mikotoksina. Pojava aflatoksina, vrlo opasnog mikotoksina koji proizvodi gljiva *Aspergillus flavus* povećava se u uslovima vodnog stresa. Savremeni hibridi i sorte su manje ili više tolerantni prema gljivama iz roda *Fusarium* i *Aspergillus*, ali vremenske prilike koje favorizuju razvoj ovih gljiva, oštećenja od ptica, insekata, mehaničke povrede, kišni period neposredno pre i u toku berbe, mogu povećati pojavu mikotoksikoza na kukuruzu (Anderson et al. 2004). Takođe, odnos vrsta iz roda *Fusarium* može biti izmenjen zbog promena temperatura, favorizujući *F. graminearum* koja proizvodi osam različitih mikotoksina i koja ima veći temperaturni optimum od ostalih vrsta (Waalwijk et al. 2008). Toksini gljiva *Penicillium* i *Aspergillus*, patulin i ohratoksin, proizvode se na nižim temperaturama i sa porastom temperature mogu postati problem u severnim i hladnijim regionima (Paterson & Lima 2009).

Promene u plodoredu bi mogle favorizovati pojavu novih sojeva ili porast značaja ekonomski manje važnih patogena. Ukoliko zagrevanje severnijih krajeva omogući gajenje silažnog kukuruza, žetveni ostaci mogu predstavljati izvor velike količine inokuluma fuzarium vrsta, što može značajno ugroziti proizvodnju pšenice i ječma (Maiorano et al. 2008).

### Klima i insekti

Dobro je poznato da senzitivnost poljoprivrednih sistema na klimatske promene zavisi od toga šta je limitirajući faktor: temperatura ili voda i da li ti sistemi funkcionišu blizu biološkog i proizvodnog optimuma ili ne. Efekti povišenih temperatura na insekte mogu se ispoljiti u vidu promene geografske rasprostranjenosti, reproduktivne sposobnosti, prezimljavanja, rasta populacija, broja generacija, sinhronizacije razvića insekata i biljke domaćina, načina širenja, migracije i prisutnosti biljaka domaćina. Na modelu dinamike ra-

zvoja lisne vaši *Rhopalosiphum padi*, vektora virusa žute patuljavosti ječma, čiji je domaćin i kukuruz, vidi se porast populacije vaši u uslovima povišene koncentracije CO<sub>2</sub> pri neizmenjenim vrednostima ostalih parametara. Ranija pojava pikova generacija i povećanje brojnosti krilatih formi za 10% može izazvati širenje i češću pojavu virusa žute patuljavosti ječma (Newman 2004). Simulacionim istraživanjem Diffenbaugh et al. (2008) su predvideli širenje areala rasprostranjenosti vrsta *Diabrotica virgifera virgifera* i *Ostrinia nubilalis* u severnije, više i hladnije regione kao i kontinentalne delove SAD. *D. virgifera virgifera* preta da se proširi na nove regione zbog smanjenog mortaliteta prezimljujuće generacije i povećane brojnosti u uslovima viših temperatura. Predviđeno širenje kukuruznog plamena nije značajno, ali usled porasta sume minimalnih temperatura, moguće je da ova vrsta razvije i treću generaciju godišnje i time nanese veće štete proizvodnji kukuruza. Onstad et al. (2003) ukazuju na rizik koji nosi širenje površina pod kukuruzom na rejone u kojima *D. virgifera virgifera* može da završi životni ciklus i dostigne brojnost populacije koja je ekonomski štetna. Do sličnih zaključaka došli su i MacLeod et al. (2005), Baker et al. (2000) i Baufeld & Enzian (2001) za površine pod kukuruzom u Evropi. Istraživanje koje su sproveli Zavala et al. (2008) pokazuje da povišena koncentracija CO<sub>2</sub> remeti funkciju gena odgovornog za sintezu inhibitora cistein proteinaze, koji igra ulogu u tolerantnosti soje prema kukuruznoj zlatici (*Diabrotica virgifera virgifera*). Ovo može predstavljati ozbiljan problem ne samo za soju već i za kukuruz, zbog povećanja rasprostranjenosti štetočine, neefikasnosti plodoreda i povećane brojnosti populacije usled dodatnog izvora hrane.

### Klima i korovi

Korovi imaju veći genetički diverzitet od useva, kompetitivniji su i bolje adaptirani na promene uslova spoljašnje sredine u odnosu na gajene biljke. Pojava i širenje korovskih vrsta van dosadašnjeg areala mogu stvarati nove probleme u proizvodnji kukuruza. Prema autoru McDonald (2009), termofilna korovska vrsta *Sorghum halepense* mogla bi postati čest i opasan korov u kukuruzu severnijih krajeva SAD-a. Malidža & Vrbničanin (2006) su na području centralne Bačke utvrdili prisustvo *Ambrosia trifida*, invazivne korovske vrste, koja zbog svoje agresivnosti, velike kompetitivne sposobnosti i alergentnosti može predstavljati ozbiljan problem ne samo sa agronomskog nego i medicinskog aspekta. Povećan rizik od pojave alergija

zbog enormne produkcije polena ambrozije pri višim koncentracijama CO<sub>2</sub> utvrdili su Wayne et al. (2002). Veća koncentracija CO<sub>2</sub> može dovesti do smanjenja efikasnosti glifosata u suzbijanju palamide, iako biohemijska osnova ove pojave nije u potpunosti objašnjena (Ziska et al. 2004). Ukoliko CO<sub>2</sub> smanjuje efikasnost herbicida, postoji potreba da se odrede specifičnost herbicida, koncentracije i doze primene, kao buduće adaptivne mere hemijskog suzbijanja korovskih vrsta (Ziska 2006).

### Klima i adaptacione mere

U cilju izbegavanja ili barem redukovanja negativnih efekata, a korišćenja potencijalnih pozitivnih efekata globalnih klimatskih promena, predloženo je nekoliko adaptacionih strategija koje se mogu svrstati u dve grupe: kratkoročne i dugoročne.

Kratkoročne mere podrazumevaju prilagođavanje, odnosno optimizaciju procesa proizvodnje bez većih strukturalnih promena. One su autonomne, primenjuju se na nivou farme odnosno preduzeća i podrazumevaju uglavnom promenu sortimenta, datuma setve, količine i načina korišćenja mineralnih hraniva, pesticida i sl. Zalud & Dubrovsky (2002) ističu da se smanjenje prosečnog prinosa može ublažiti ukoliko se kukuruz seje ranije. Do sličnog zaključka došli su i domaći autori. Primenom linearne regresione analize, Latković i sar. (2008) su ustanovili da se u periodu 2003-2006. prinos zrna kukuruza u proseku smanjivao po stopi od 290 kg ha<sup>-1</sup> na svakih 14 dana zakašnjenja u setvi. Ukoliko bi umesto optimalnog roka sredinom aprila setvu kukuruza obavili sredinom maja, pad prinosa prouzrokovan kašnjenjem setve bi mogao iznositi 630 kg ha<sup>-1</sup> do 790 kg ha<sup>-1</sup>. Pad prinosa zbog zakašnjenja u setvi je karakteristika svih hibrida, ali je najizraženiji kod hibrida duže vegetacije (FAO 600 i FAO 700; Latković i sar. 2007). U prilog ovoj činjenici idu i istraživanja autora Trolove et al. (2008) koji pokazuju da ranija setva može rezultirati u većoj produkciji biomase kukuruza. Ipak, mora se konstatovati da su ovakve mere adaptacije specifične za svaku zemlju, odnosno region i da u krajnjem slučaju mogu samo umanjiti negativan efekat klimatskih promena (Tsvetsinskaya et al. 2003). Istraživanja Erde et al. (2005) potvrđuju ovu činjenicu navodeći da bi i primena navodnjavanja samo ublažila negativan trend smanjenja prinosa.

Dugoročne mere adaptacije se odnose na krupne strukturalne promene koje se implementiraju sa ciljem prevazilaženja problema prouzrokova-

nih klimatskim promenama. Ovde se podrazumeva promena načina korišćenja zemljišta: npr. zamena kultura koje se karakterišu visokim sezonskim variranjem prinosa (pšenica) kulturama koje su manje produktivne, ali imaju stabilnije prinose (pašnjaci); promena načina korišćenja zemljišta i primena agrotehničkih mera sa ciljem čuvanja vlage u zemljištu, povećanje efikasnosti navodnjavanja, itd. Kao tipičan primer dugoročnih mera adaptacije globalnim klimatskim promenama navodi se zamena stočne repe i strnih žita silažnim kukuruzom u Danskoj (Olesen & Bindi 2002). Ipak, svim ovim merama mogu se samo ublažiti negativni efekti klimatskih promena, jer ukoliko se u širokoj proizvodnji ne budu gajili hibridi tolerantni prema faktorima spoljašnje sredine, nastaviće se trend pada prinosa prouzrokovan klimatskim faktorima. Zbog toga se oplemenjivanje biljaka navodi kao jedna od najznačajnijih mera adaptacije.

### Oplemenjivanje kao mera adaptacije

Jedan od najinteresantnijih primera značaja genotipa jeste slučaj osetljivosti inbred linija kukuruza prema prouzrokaču Južne pegavosti lista (*Bipolaris maydis*) u Americi početkom 70-tih godina prošlog veka. Uzrok iznenadne pojave i brzog širenja bolesti bila je pojava rase-T *B. maydis*, specifične za cms-T citoplazmu (tzv. Teksaske ili T tip citoplazme) koja je u to vreme bila vrlo zastupljena u semenskoj industriji Amerike. Bolest je zahvatila velike površine i nanela ogromne štete semenskim kompanijama u jako kratkom vremenskom periodu. Rešenje problema nađeno je u korišćenju linija sa normalnom citoplazmom.

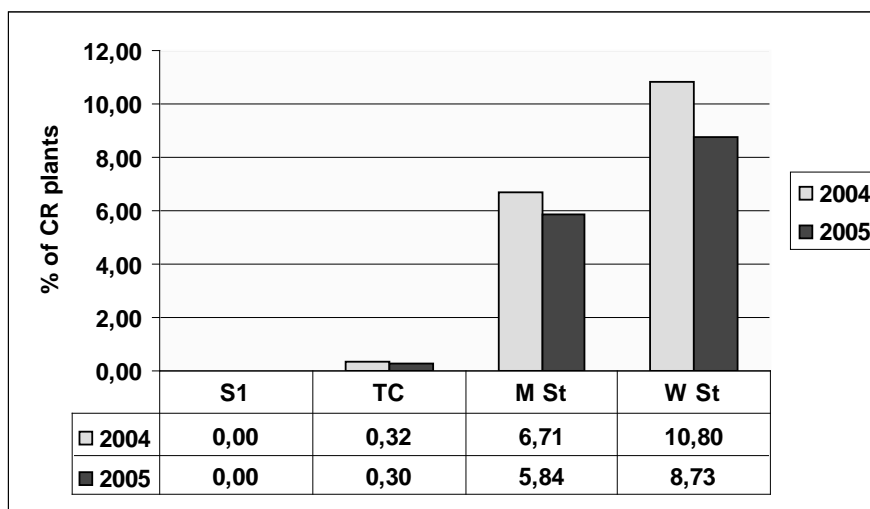
Snažan doprinos genetike i oplemenjivanja kukuruza u stvaranju genotipova tolerantnih prema faktorima spoljašnje sredine vidi se i na primeru hibrida NSSC70. Jedan od najrodnijih hibrida pripadajućeg ciklusa selekcije (II ciklus selekcije), koji se gajio više od decenije imao je značajan nedostatak u smislu osetljivosti prema truleži klipa (gljive iz roda *Fusarium*). U godinama sa većom količinom padavina i visokom vlažnošću vazduha u jesenjem periodu, dolazilo je do značajnog gubitka prinosa (Ivanović i sar. 2002). Rešenje je nađeno već u tzv. IV ciklusu selekcije. Hibrid NS640 je u pravom smislu pokazao značaj oplemenjivanja u rešavanju nekih od gorućih problema u proizvodnji kukuruza. U ovom hibridu su na vrlo izbalansiran način objedinjeni visok prinos, tolerantnost prema suši, široka adaptabilnost i izuzetna tolerantnost prema prouzrokačima truleži klipa. Ovaj hibrid i danas drži svoju liderku poziciju u proizvodnji kukuruza u Srbiji.

Iako efekti globalnih klimatskih promena i povećane koncentracije CO<sub>2</sub> na biljne bolesti mogu biti pozitivni i negativni, u najvećem broju slučajeva primećeno je širenje areala i agresivnosti patogena (Chakraborty et al. 2000). Crvenilo kukuruza, koje je registrovano u Srbiji krajem pedestih godina prošlog veka i do sada se periodično javljalo, nije predstavljalo ekonomski značajan problem u proizvodnji kukuruza. Ipak, poslednja pojava crvenila većih razmera zabeležena je 2002. i 2003. kada se na nekim poljima stepen crvenila i sušenja biljaka kretao u intervalu od 10% do 90%. Teško je ustanoviti vezu između globalnih klimatskih promena i ekonomski značajnijeg sniženja prinosa prouzrokovanog crvenilom u poslednjoj dekadi, ali je alarmantno što su svi komercijalni hibridi u većoj ili manjoj meri pokazali osetljivost prema ovoj pojavi. Iako polemika oko biotičke ili abiotičke prirode crvenila kukuruza još uvek traje, u nekoliko eksperimenata je utvrđeno da ne postoji jasna veza između ove pojave i *corn stunt spiroplazme*, te da plodnost zemljišta i prisustvo nematoda u zemljištu i biljnom materijalu nemaju uticaja na pojavu crvenila (Purur et al. 2009). Autori navode da je na eksperimentalnim parcelama tretiranim insekticidima utvrđena manja pojava crvenila nego na kontroli, što bi moglo upućivati na vezu između ove pojave i određenih biotičkih faktora. Bez obzira na uzrok, interesantan izvor tolerantnosti prema crvenilu kukuruza otkriven

je u jednoj lokalnoj populaciji. U periodu 2004-2005. i ogleđima postavljanim u epicentru ove pojave, ustanovljena je izuzetna tolerantnost populacije NS 1-257 CRS prema crvenilu (Graf. 1; Bekavac et.al. 2007).

Sve S<sub>1</sub> familije selekcionisane iz ove populacije bile su potpuno tolerantne prema crvenilu. Ipak, TC potomstva (nastala ukrštanjem S<sub>1</sub> familija sa nesrodnim inbred testerom) pokazivala su diskretnu osetljivost, ali neuporedivo nižu nego standardni hibridi (Graf. 1). Ovi rezultati upućuju na zaključak da rad na oplemenjivanju lokalno razvijenih materijala može biti vrlo interesantan, ali da treba biti umereni optimista pošto je to trenutno jedini izvor tolerantnosti prema crvenilu stvoren u Institutu za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu. Kombinovanom familijском selekcijom pokušavaju se popraviti srednje vrednosti osnovnih agronomskih svojstava i kombinacione sposobnosti ovog materijala uz očuvanje neizmenjenog nivoa tolerantnosti prema crvenilu (Bekavac i sar. 2010). U šestogodišnjem periodu testiranja (2004-2009) na S<sub>1</sub> familijama razvijenim iz populacije NS 1-257 CRS nije determinisana ni jedna biljka sa tipičnim simptomima crvenila.

Strategija proizvodnje kukuruza u uslovima globalnih klimatskih promena zasniva se na gajenju hibrida široke adaptiranosti za područja različitih agroekoloških karakteristika i rejonizaciji odnosno izboru hibrida prilagođenih speci-



Grafikon1. Tolerantnost S<sub>1</sub> i TC potomstava populacije NS 1-257 CRS i standardnih hibrida prema crvenilu kukuruza (S<sub>1</sub> potomstva; TC potomstva; M St – srednja vrednost četiri standarda; W St – srednja vrednost dva najosetljivija standarda)

Graph 1. Tolerance of S<sub>1</sub> and TC progenies of the population NS 1-257 CRS and check hybrids to corn reddening (S<sub>1</sub> progenies; TC progenies; M St – mean of four control hybrids; W St – mean of two most susceptible control hybrids)

fličnim klimatskim i zemljišnim karakteristikama pojedinačnih rejonu. Sve veći značaj rejonizacije posledica je kako potreba da se shodno proizvodnim uslovima i zahtevima tržišta proizvodi što više i što racionalnije, tako i novih uslova koje nameće izmenjena klima. U našoj zemlji rad na rejonizaciji je počeo još u prošlom veku, kada je urađena detaljna studija i definisano deset rejonu ratarske proizvodnje na teritoriji Vojvodine (Stojković 1972; cit. prema Stojaković i sar. 2010). Na osnovu prosečnih prinosa u Vojvodini od 1981. do 2000. kao i prirodnih uslova u ostalim delovima Srbije, izdvojeno je pet rejonu proizvodnje kukuruza u nas (Stojaković i sar. 2001, Stojaković i sar. 2006). Ova istraživanja su pomogla da se za svaki rejon preporuči najbolje adaptirani sortiment i time poveća proizvodnja ili barem stabilizuje na zadovoljavajućem nivou. Izbor hibrida otpornih prema suši i prilagođenih određenom rejonu gajenja, kao mera adaptacije na klimatske promene, sve više dobija na značaju (Reidsma et al. 2009). Pod uticajem faktora spoljne sredine hibridi se različito rangiraju bez obzira na njihov genetički potencijal (Ivanović i sar. 2007), pa se utvrđivanju interakcije genotip x spoljašnja mora pažljivo pristupati. Efekti nepovoljnih klimatskih prilika, pre svega suše mogu se umanjiti gajenjem hibrida veće stabilnosti, široke adaptabilnosti ili gajenjem hibrida kraće vegetacije (FAO grupe 300 do 500), koji u našoj zemlji kritične faze razvoja, oplodnju i nalivanje zrna, završavaju pre nastupanja sušnog perioda (Stojaković i sar. 2009). Pojedini hibridi poseduju visok potencijal za prinos zrna i natprosečnu stabilnost prinosa, zbog čega se sa uspehom mogu gajiti u gotovo svim proizvodnim rejonima Srbije. Sa druge strane, razlikujemo hibride visoko adaptirane na specifične uslove gajenja jednog užeg regiona ili čak lokaliteta. U cilju rejonizacije proizvodnog područja, Stojaković i sar. (2010) su ispitivali agronomski svojstva 15 hibrida kukuruza različitih grupa zrenja (FAO300-700) na 30 lokaliteta u Srbiji. Metodom multivarijacije analize izdvojeni su hibridi sa visokim prinosom i interakcijskom vrednošću bliskoj nuli i utvrđene specifične veze između lokaliteta i hibrida. Na ovaj način je moguće dati preporuku sortimenta od kojeg se u datom lokalitetu i uz primenjenu agrotehniku može očekivati maksimum.

## Zaključak

Većina modela globalnih klimatskih promena predviđaju više temperature, promene u količini i distribuciji padavina, kao i veću koncentraciju

atmosferskog CO<sub>2</sub>. Iako rast temperature može imati i pozitivan i negativan uticaj na prinos useva, generalno povišene temperature dovode do ubrzanih respiratornih procesa, kraćeg perioda nalivanja zrna i slabije produkcije biomase, što utiče na pad prinosa i kvaliteta. Klimatske promene utiču na promenu sastava i širenje korovskih vrsta, štetočina i bolesti gajenih biljaka. Najznačajnije mere adaptacije podrazumevaju raniju setvu, uvođenje navodnjavanja i izbor tolerantnih hibrida. Korišćenje visokoproduktivnih genotipova, tolerantnih prema izmenjenim faktorima spoljašnje sredine imaće presudnu ulogu u proizvodnji kukuruza u budućnosti.

## Literatura

- Abraha M G, Savage M J (2006): Potential impacts of climate change on the grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.* 115: 150-160
- Adams R M, Hurd B H, Lenhart S, Leary N (1998): Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Clim. Res.* 11: 19-30
- Anderson P K, Cunningham A A, Patel N G, Morales F J, Epstein P R, Daszak P (2004): Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. *Trends Ecol. Evol.* 19: 535-544
- Baker R H A, Sansford C E, Jarvis C H, Cannon R J C, MacLeod A, Walters K F A (2000): The role of climatic mapping in predicting the potential geographic distribution of nonindigenous pests under current and future climates. *Agric. Ecosyst. Environ.* 82: 57-71
- Baufeld P, Enzian S (2001): Simulations model for spreading scenarios of Western Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*) in case of Germany, 7<sup>th</sup> EPP0 ad hoc Panel on Diabrotica, Venice, Italy
- Bekavac G, Purar B, Jocković Đ (2007): Corn reddening: the disease and breeding for resistance. *J. Plant Pathol.* 89: 397-404
- Bekavac G, Stojaković M, Ivanović M, Jocković Đ, Purar B, Nastasić A, Stanisavljević D, Mitrović B, Treskić S, Laišić R (2010): Kombinovana familijaska selekcija na tolerantnost prema crvenilu kukuruza. *Ratar. Povrt. / Field Veg. Crop Res.* 47: 103-108
- Chakraborty S, Tiedermann A V, Teng P S (2000): Climate change: potential impact on plant diseases. *Environ. Pollut.* 108: 317-326
- Diffenbaugh N S, Krupke C H, White M A, Alexander C E (2008): Global warming presents new challenges for maize pest management. *Environ. Res. Lett.* 3: 1-9
- Gregory P J, Johnson S N, Newton A C, Ingram J S I (2009): Integrating pests and pathogens into the climate change/ food security debate. *J. Exp. Bot.* 60: 2827-2838
- IPCC WGI 2007 Climate Change (2007): The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
- Ivanović M, Nastasić A, Stojaković M, Jocković Đ (2007): Rejonizacija hibrida kukuruza. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo* 43: 89-94
- Jocković Đ, Bekavac G, Purar B, Nastasić A, Stojaković M, Ivanović M, Latković D, Bočanski J (2008): Oplemenjivanje kukuruza u Institutu za ratarstvo i povrtarstvo: danas

- i sutra. Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo 45: 5-13
- Jones P G, Thornton P K (2003): The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environ. Chang.* 13: 51-59
- Kapetanaki G, Rosenzweig C (1997): Impact of climate change on maize yield in Central and Northern Greece: A simulation study with CERES-Maize. *Mitig. Adapt. Strateg. Global Chang.* 1: 251-271
- Eberhart S A, Russell W A (1966): Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40
- Erda L, Wei X, Hui J, Yinlong X, Yue L, Liping B, Liyong X (2005): Climate change impacts on crop yield and quality with CO<sub>2</sub> fertilization in China. *Phil. Trans. R. Soc. B* 360: 2149-2154
- Latković D, Starčević Lj, Marinković B (2007): Analiza vremenski uslova i doprinosa roka i gustine setve optimalnim prinosima kukuruza. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo* 43: 95-102
- Latković D, Starčević Lj, Marinković B, Malešević M, Jačimović G, Crnobarac J (2008): Uticaj roka i gustine setve na visinu prinosa kukuruza. *Letopis naučnih radova, Poljoprivredni fakultet Novi Sad* 32: 70-74
- Long S P, Ainsworth E A, Leakey A D B, Nosberger J, Ort D R (2006): Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO<sub>2</sub> concentrations. *Sci.* 312: 1918-1921
- Maiorano A, Blandino M, Reyneri A, Vanara F (2008): Effects of maize residues on the *Fusarium* spp. infection and deoxynivalenol (DON) contamination of wheat grain. *Crop Prot.* 27: 182-188
- Malidža G, Vrbničanić S (2006): Novo nalazište alohtone korovske vrste *Ambrosia trifida* L. Na području Vojvodine. VIII Savetovanje o zaštiti bilja, 27.01-01.12, Zlatibor, 44-45
- MacLeod A, Baker R H A, Cannon R J C (2005): Costs and benefits of European Community (EC) measures against an invasive alien species - current and future impacts of *Diabrotica virgifera virgifera* in England & Wales, International Symposium Plant Protection and Plant Health in Europe: Introduction and Spread of Invasive Species, Humboldt University, Berlin, Germany
- McDonald A, Riha S, DiTommaso A, DeGaetano A (2009): Climate change and the geography of weed damage: Analysis of U.S. maize systems suggests the potential for significant range transformations. *Agric. Ecosyst. Environ.* 130:131-140
- Mera R J, Niyogi D, Buol G S, Wilkerson G G, Semazzi F H M (2006): Potential individual versus simultaneous climate change effects on soybean (C<sub>3</sub>) and maize (C<sub>4</sub>) crops: An agrotechnology model based study. *Global Planet. Chang.* 54: 163-182
- Meza F J, Silva D, Vigil H (2008): Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: Evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. *Agric. Syst.* 98: 21-30
- National Science Board (1974): Science and the challenges ahead: report of the National Science Board Washington, D.C., National Science Foundation
- Newman J A (2004): Climate change and cereal aphids: the relative effects of increasing CO<sub>2</sub> and temperature on aphid population dynamics. *Global Chang. Biol.* 10: 5-15
- Olesen J E, Bindi M (2002): Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *Eur. J. Agron.* 16: 239-262
- Olesen J E, Carter T R, Diaz-Ambrona C H, Fronzek S, Heidmann T, Hickler T, Holt T, Miguez M I, Morales P, Palutikof J P, Quemada M, Ruiz-Ramos M, Rubæk G H, Sau F, Smith B, Sykes M T (2007): Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Clim. Chang.* 81: 123-143
- Onstad D W, Crwoder D W, Isard S A, Levine E, Spencer J L, O'Neal M E, Tarcliff S T, Gray M E, Bledsoe L W, Di Fonzo C D, Eislely J B, Edwards C R (2003): Does landscape diversity slow the spread of rotation-resistant Western corn rootworm (*Coleoptera: Chrysomelidae*)? *Environ. Entomology* 32: 992-1001
- Paterson R R M, Lima N (2009): How will climate change affect mycotoxins in food? *Food Research International* (Article in press) DOI:10.1016/j.foodres.2009.07.010
- Petzoldt C, Seaman A (2006): Climate Change Effects on Insects and Pathogens, *Climate Change and Agriculture: Promoting Practical and Profitable Responses* 1-16
- Purur B, Bekavac G, Jocković Đ, Tóth É. T., Kálmán L, Raspuđić E, Dimitrijević M (2009): Corn Reddening: Occurrence, Symptoms and Field Observations. *Cereal Res. Commun.* 37:121-129
- Reidsma P, Ewert F, Boogaard H, van Diepen K (2009): Regional crop modelling in Europe: The impact of climatic conditions and farm characteristics on maize yields. *Agric. Syst.* 100: 51-60
- Sage R F, Kubien D S (2003): Quo vadis C<sub>4</sub>? An ecophysiological perspective on global change and the future of C<sub>4</sub> plants. *Photosynth. Res.* 77: 209-225
- Stojaković M, Bekavac G, Simić D, Bogdanović B (2001): Rejonizacija NS hibrida kukuruza na osnovu prinosa zrna u makroogledima u periodu 1997–2000. godina. *Zbornik radova Naučnog instituta za ratarstvo i povrtarstvo* 35: 11-19
- Stojaković M, Jocković Đ, Ivanović M, Vasić N, Simić D, Bočanski J (2006): NS hibridi kukuruza u ogledima u 2005 godini. *Zbornik radova Naučnog instituta za ratarstvo i povrtarstvo* 42: 3-14
- Stojaković M, Jocković Đ, Ivanović M, Bekavac G, Nastasić A, Purur B, Stanisavljević D, Popov R, Čapelja V, Laišić R, Dolapčev S, Stojaković Ž (2009): Specifičnost reakcije hibrida kukuruza u različitim agroekološkim uslovima. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo* 46: 335-344
- Stojaković M, Ivanović M, Jocković Đ, Bekavac G, Purur B, Nastasić A, Stanisavljević D, Mitrović B, Treskić S, Laišić R (2010): NS hibridi kukuruza u proizvodnim rejonima Srbije. *Ratar. Povrt. / Field Veg. Crop Res.* 47: 93-102
- Torriani D, Calanca P, Lips M, Ammann H, Beniston M, Fuhrer J (2007): Regional assessment of climate change impacts on maize productivity and associated production risk in Switzerland. *Reg. Environ. Chang.* 7: 209-221
- Travasso M I, Magrin G O, Rodriguez G R, Solman S, Nuñez M (2009): Climate change impacts on regional maize yields and possible adaptation measures in Argentina. *Int. J. Global Warming* 1: 201-213
- Trolove S, Kerckhoffs H, Zyskowski R, Brown H, Searle B, Tait A, Pearson A, Reid J (2008): Forage crop opportunities as a result of climate change. *Crop & Food Research Confidential Report No 2161. Climate change –Plan of action research programme 2007–08*
- Tsvetsinskaya E A, Mearns L O, Mavromatis T, Gao W, McDaniel L, Downton W (2003): The effect of spatial scale of climate change scenarios on stimulated maize, winter wheat and rice production on the southeastern United States. *Clim. Chang.* 60: 37-71
- Von Braun J (2007): The world food situation: new driving forces and required actions. Washington, DC, USA: International Food Policy Research Institute

- Waalwijk C, van der Lee T, Yang L, de Vries I, Görtz A, Kema G (2008): Are changes in the composition of the Fusarium Head Blight complex caused by climate change? Pests and climate change 2008 Symposium, Wageningen, Netherlands
- Wayne P S, Foster S, Connolly J, Bazzaz F A, Epstein P R (2002): Production of allergenic pollen by ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is increased in CO<sub>2</sub>-enriched atmospheres. *Annal Allergy Asthma Immunol.* 80: 669-679
- Zaidi P (2002): Global climate change & problem of drought in maize. CYMMIT Online Publication.[Elektronski izvor], dostupno na adresi [www.cimmyt.org/Research/Maize/qpm2002/Drought/Drought2.htm](http://www.cimmyt.org/Research/Maize/qpm2002/Drought/Drought2.htm)
- Zalud Z, Dubrovsky M (2002): Modeling climate change impacts on maize growth and development in the Czech Republic. *Theor. Appl. Climatol.* 72: 85-102
- Zavala J A, Casteel C L, DeLucia E H, Berenbaum M R (2008): Anthropogenic increase in carbon dioxide compromises plant defense against invasive insects. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 105: 5129-5133
- Ziska L H, Faulkner S S, Lydon J (2004): Changes in biomass and root: shoot ratio of field grown Canada thistle (*Cirsium arvense*), a noxious, invasive weed, with elevated CO<sub>2</sub>: implications for control with glyphosate. *Weed Sci.* 52: 584-588
- Ziska L H (2006): Climate Change Effects on Weeds, Climate Change and Agriculture: Promoting Practical and Profitable Responses

## Maize Production in Terms of Global Climate Changes

Goran Bekavac · Božana Purar · Đorđe Jocković · Milisav Stojaković ·  
Mile Ivanović · Goran Malidža · Ivica Đalović

Institute of Field and Vegetable Crops, Maksima Gorkog 30, 21000 Novi Sad, Serbia

**Summary:** Climate changes and expected variability of climatic parameters represent a serious concern of the 21st century agriculture. At the global level, the further rise in temperature, changed quantity and distribution of precipitation, increased variability of climate parameters and the occurrence of extreme climate events are expected. In order to avoid, or at least reduce the negative effects of global climate change, several adaptation strategies are proposed. Adjustment of production technology and breeding for tolerance to changed environment are proposed as two most important adaptation measures.

**Key words:** breeding, climate, maize