

UDK 631.527:633.15

## Dominantna svojstva efikasnog fotosintetično-fluorescentnog modela u oplemenjivanju i savremenoj proizvodnji kvalitetnog merkantilnog kukuruza\*

- Originalan naučni rad -

Čedomir RADENOVIĆ<sup>1,2</sup>, Milomir FILIPOVIĆ<sup>1</sup>, Života JOVANOVIĆ<sup>1</sup>,  
Živorad VIDENOVIĆ<sup>1</sup>, Dragojlo SELAKOVIĆ<sup>1</sup>, Mile SEČANSKI<sup>1</sup>,  
Marija MILAŠINOVIĆ<sup>1</sup>, Milica RADOSAVLJEVIĆ<sup>1</sup> i Zoran ČAMDŽIJA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut za kukuruz "Zemun Polje", Beograd-Zemun

<sup>2</sup> Fakultet za fizičku hemiju, Beograd

**Izvod:** U ovom radu potvrđuje se naša hipoteza da postoje elitne samooplodne linije i sa njima stvoreni hibridi kukuruza, sa uspravnim položajem vršnih listova, koje poseduju dominantno svojstvo efikasnog fotosintetično-fluorescentnog modela što se uspešno koristi u oplemenjivanju, savremenim tehnologijama proizvodnje hibridnog semena i merkantilnog kukuruza. Izloženi rezultati o uspravnom položaju vršnih listova, povećanoj gustini, dinamici otpuštanja vode iz zrna u periodu sazrevanja, kvalitetu semena hibridnog i merkantilnog kukuruza i o fotosintetično-fluorescentnim pokazateljima: temperaturnoj zavisnosti intenziteta zakasnele fluorescencije hlorofila, Arenijusovom kriterijumu za određivanje kritičnih temperatura (temperature faznih prelaza) i energija aktivacije, pokazuju da su svojstva proučavanih linija i njihovih hibrida kukuruza zasnovana na pozitivnim efektima i prirodni strukturnih i funkcionalnih promena, koje se odigravaju u njihovim tilakoidnim membranama i drugim hemijskim strukturama tkiva zrna i lista. U radu se analiziraju i druge relevantne selekzione i semenarske karakteristike proučavanih prestižnih samooplodnih linija kukuruza i sa njima stvorenih hibrida kukuruza (zavisnost prinosa od gustine i kvalitet merkantilnog kukuruza preko strukture zrna i fizičkih i hemijskih parametara).

**Ključne reči:** Adaptivnost i zakasnela fluorescencija hlorofila, fotosintetično-fluorescentni model, hibrid, intaktni list, otpornost, otpuštanje vode iz zrna, samooplodna linija, termalni procesi, tilakoidna membrana, transportni procesi, uspravnan položaj vršnih listova, *Zea mays* L.

*\*Ovaj rad autori posvećuju uspomeni i dugom sećanju na lik i delo dr Filipa N. Kolčara, naučnog savetnika i tvorca savremene tehnologije gajenja hibrida kukuruza. On je ovu tehnologiju razvijao sa saradnicima više godina u agroekološkim uslovima Srema, Bačke, Banata i Mačve, a proveravao ju je u Iranu, Gruziji, Ukrajini i ruskom Kubanu.*

*J. Sci. Agric. Research/Arh. poljopr. nauke 70, 249 (2009/1), 31-53*

31

## Uvod

U današnje vreme, početak XXI veka, dominantna je neminovnost da se povezuju složeni i međuzavisni procesi osnovnih, multidisciplinarnih i primenjenih nauka. U ovom radu, takvo nastojanje se ostvaruje između oplemenjivanja, fotosinteze, fluorescencije, biofizičke hemije i semenarstva kod elitnih samooplodnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova. U radu se, ukratko, analiziraju razvojni putevi dominantnih procesa za navedene naučne discipline i pronalaze funkcionalna mesta njihove efikasne i međusobne zavisnosti.

Oplemenjivanje i semenarstvo kukuruza intenzivno su se razvijali u poslednjih 60 godina. Kao rezultat takve aktivnosti stvoreno je preko 1200 hibrida kukuruza za zrno i silažu. Obezbeđeni su i savremeni tehničko-tehnološki preduslovi za obavljanje modernog procesa oplemenjivanja i savremene proizvodnje hibridnog semena kukuruza, **Duvick**, 1977, 1984, **Sprague**, 1984, **Trifunović**, 1986, **Dumanović**, 1986, **Hallauer**, 1988, **Ivanović i sar.**, 1995. Bez obzira na takav kolosalan uspeh u oplemenjivanju i proizvodnji hibridnog semena kukuruza, zamah i zanos ukupnih istraživanja se ne usporava, već se naprotiv, dalje traga za novim metodama i egzaktnijim pristupima kako bi se proučavanja u oplemenjivanju i proizvodnji merkatilnog kukuruza još više upotpunila, obogatila i uvećala.

Počev od 1976. godine dolazi do značajnog povećavanja broja biljaka po jedinici površine (gustina biljaka), što je najdirektnije uticalo na povećavanje prinosa hibridnog semena i merkatilnog kukuruza, **Kojić i Ivanović**, 1986, **Kojić**, 1993. Gotovo paralelno sa ovom aktivnošću nastao je još jedan program u oplemenjivanju i proizvodnji hibridnog semena kukuruza koji je uključivao samooplodne linije kukuruza sa uspravnim položajem listova, **Radenović i sar.**, 1978, 2003a, 2003b, 2004a, 2004b, 2007, 2008a, 2008b, **Felner i sar.**, 2006. Smatra se, shodno našoj hipotezi, da su upravo proučavane samooplodne linije i sa njima stvoreni hibridi kukuruza, sa uspravnim položajem vršnih listova, najbliže pretpostavljenom fotosintetično-fluorescentom modelu kukuruza, **Radenović i Grodzinskij**, 1998.

U prethodnom periodu razvojni put istraživanja fotosinteze kukuruza bio je znatno drugačiji. Naime, iako su fotosintetični procesi veoma rašireni, po intenzitetu visoko produktivni, po svojoj prirodi vrlo kompleksni, a po naučnoj aktuelnosti mnogo izučavani, oni nisu našli značajniju aplikaciju u oplemenjivanju i proizvodnji hibridnog semena kukuruza. Gotovo da nije bilo moguće dati jasnu i direktnu međuzavisnost između fotosinteze, oplemenjivanja i semenske proizvodnje kukuruza. Takvo stanje je verovatno posledica postojanja više funkcionalnih međuzavisnosti koje objedinjuju strukturno-dinamične promene unutar hloroplasta i njihovih tilakoidnih membrana, sa jedne, i delovanja brojnih faktora spoljašnje sredine na njih, sa druge strane, **Radenović i sar.**, 2003a, 2004a, 2007, 2008a, 2008b. Ovakvo stanje nije dugo trajalo. Naime, u poslednjih 35 godina desila su se nova i značajna proučavanja u oblastima bioluminiscentnih i fluorescentnih proučavanja pojava i procesa u biljnim sistemima, uključujući i kulturu kukuruza, **Barber i Neuman**, 1974, **Bukhov i sar.**, 1989, **Dzhibladze i sar.**, 1988, **Govindjee i Papageorgiou**, 1971, **Govindjee i sar.**, 1990, **Haveman i Lavorel**, 1979, **Hipkins** i

**Barber**, 1974, **Holzappel** i **Haug**, 1974, **Jursinic**, 1989, **Jursinic** i **Govindjee**, 1982, **Kraus** i **Weis**, 1991, **Lichtenthalerand** i **Rinderle**, 1988, **McCauley** i **Ruby**, 1981, **Papageorgiou**, 1975, **Veselovski** i **Veselova**, 1990, **Marković i sar.**, 1987, 1993, 1999, **Radenović**, 1992, 1994, 1997, **Radenović i sar.**, 1994a, 1994b; **Radenović** i **Jeremić**, 1996. Navedena istraživanja bacila su novu svetlost na kompleksne fotosintetične i fluorescentne procese. Došlo je do otkrivanja direktne zavisnosti zakasnele fluorescencije (ZF) hlorofila i utvrđene su promene fotosintetičnih procesa u tilakoidnim membranama intaktnih listova kukuruza, **Radenović**, 1994, 1997, **Radenović** i **Jeremić**, 1996. Tako je došlo do mogućnosti da se složeni fotosintetični procesi u intaktnom listu kukuruza prate pomoću fotosintetično-fluorescentnog odgovora u vidu ZF hlorofila, **Radenović i sar.**, 2000, 2001a, 2001b. U poslednjih petnaest godina grupa istraživača iz Instituta za kukuruz "Zemun Polje", razvila je novi neinvazivni fotosintetično-fluorescentni metod koji funkcionalno povezuje odigravanje procesa fotosinteze, fluorescencije i oplemenjivanja kukuruza, **Radenović i sar.**, 2002, 2003a, 2003b, 2004a, 2004b, **Marković i sar.**, 1996.

Metodi istraživanja biofizičke hemije i hemijske tehnologije su u velikoj meri doprineli raznovrsnom povezivanju izučavanja fotosintetičnih i transportnih procesa u tilakoidnoj membrani i u različitim hemijskim strukturama zrna sa procesima fluorescentne spektroskopije, hemijske kinetike i dinamike otpuštanja vode iz zrna u periodu njegovog sazrevanja, **Radenović**, 1994, 1998, **Radenović i sar.**, 2007, 2008a, 2008b, **Rubin i sar.**, 1988.

Cilj ovoga rada je da se pokaže da prestižne samooplodne linije i sa njima stvoreni visokoprinosni hibridi kukuruza, sa uspravnim položajem vršnih listova, mogu da ostvare ulogu efikasnog fotomodela, a to znači, da doprinesu funkcionalnoj povezanosti oplemenjivanja, fotosinteze, fluorescencije i proizvodnje kvalitetnog merkantilnog kukuruza, a time i da se ovi procesi znatno osavremene i uvećaju.

## Materijal i metode

**Biljni materijal.** - U ovom radu ispitivane su tri elitne samooplodne linije kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova: ZPPL 16, ZPPL 218, ZPPL 62. Sve tri ove linije su iz kolekcije Instituta za kukuruz „Zemun Polje“. Daju se samo osnovna svojstva navedenih linija.

Samooplodna linija ZPPL 16 dobijena je iz BSSS populacije i pripada grupi zrenja FAO 700. Zrno joj je u tipu zubana, a oklasak roze boje. Ova linija je uključena, bilo kao otac, bilo kao majka, u stvaranju više od dvadeset hibrida kukuruza. Međutim, od svih stvorenih hibrida, široku komercijalnu primenu u ovom srednjeročnom periodu imaju hibridi: ZP 578, ZP 677, ZP 684.

Samooplodna linija ZPPL 218 pripada Lankaster heterotičnoj grupi i ima FAO grupu zrenja 650. Zrno joj je u tipu zubana, a oklasak je crvene boje. Ova linija je uključena u stvaranje više od deset ZP hibrida kukuruza. Među kojima spada i hibrid ZP 684. Posebno se ističu nedavno priznati hibridi: ZP 548, ZP 574, ZP 606,

ZP 648 i ZP 805, za koje se očekuje da će imati značajnu komercijalnu vrednost u skorijoj budućnosti.

Samooplodna linija ZPPL 62 predstavlja BSSS heterotičnu grupu i pripada FAO grupi zrenja 350. Zrno ove linije je u tipu zubana, a oklasak crvene boje. Ova linija je uključena, kao jedna od komponenata, u preko dvadeset hibrida kukuruza. Međutim, od svih stvorenih hibrida široku komercijalnu primenu u ovom srednjeročnom periodu imaju hibridi: ZP 260, ZP 341, ZP 360 i ZP 434.

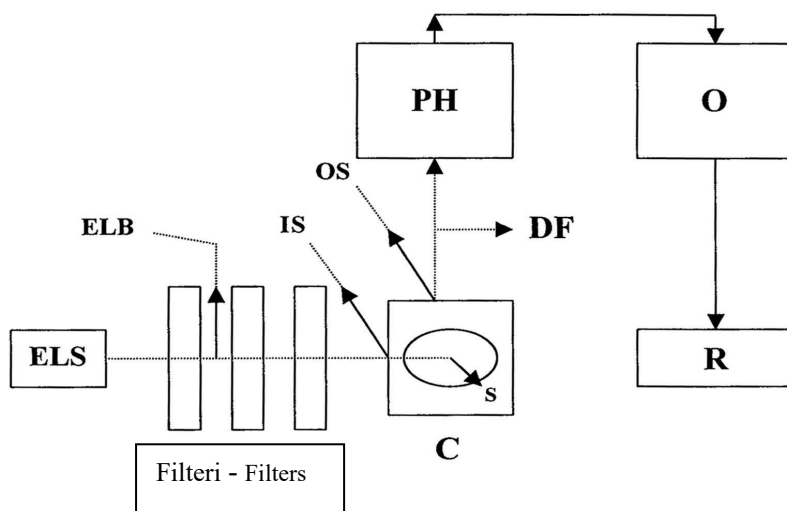
U prestižne karakteristike, kako za sve tri navedene linije, tako i za visokoprinosne hibride kukuruza: ZP 341, ZP 434, ZP 578 i ZP 684, spada svojstvo efikasnog fotomodela, pošto se radi o linijama i hibridima sa uspravnim položajem vršnih listova. Pored toga, proučavane samooplodne linije i hibridi kukuruza poseduju i značajno svojstvo bržeg otpuštanja vode iz zrna u periodu njegovog sazrevanja, kao i zadovoljavajuću tolerantnost na delovanje viših i visokih temperatura kao i suše. Ističe se i postojanje funkcionalne zavisnosti između svojstva hibrida sa uspravnim položajem vršnih listova i gustine biljaka u usevu na njihov prinos. Ispitivanje je vršeno sa sledećim gustinama (G, broj biljaka/ha): G1=40816=70x35 cm, G2=50125=70x28.5 cm, G3=59523=70x24 cm, G4=69686=70x20,5 cm, G5=79365=70x18 cm, G6=89286=70x16 cm, G7=98522=70x14.5 cm.

**Metode.** - Ukupna proučavanja navedenih samooplodnih linija i izabranih hibrida kukuruza obuhvatala su nekoliko serija eksperimenata, u kojima su primenjeni odgovarajući i standardni metodski postupci.

1. *Veličina ugla i lisna površina.* - Prva serija eksperimenata odnosila se na ispitivanje uspravnog položaja vršnih listova. Pomoću specijalno konstruisanog uglomera izvršeno je merenje veličine ugla između pravca prostiranja prvog lista iznad klipa i pravca prostiranja stabljike samooplodne linije kukuruza. Za merenje lisne površine korišćen je aparat Portable area meter, model LI-3000. Veličine ugla između prvog lista iznad klipa i stabljike i veličine lisne površine utvrđene su u trogodišnjim merenjima na 218 biljaka za svaku samooplodnu liniju. Ovi metodski postupci opisani su u ranije objavljenim radovima, **Radenović i sar.**, 2003a, 2004a, 2004b, 2007.

2. *Fotosintetično-fluorescentna merenja.* - Druga serija eksperimenata se odnosila na fotosintetično-fluorescentna istraživanja, koja su uključivala termalne procese ZF hlorofila, kritične temperature faznih prelaza i energije aktivacije. Za ova proučavanja ispitivane linije su gajene u ogednom polju Instituta za kukuruz "Zemun Polje". Biljke kukuruza su donošene u laboratoriju iz oglednog polja, između 7.00 i 8.00 časova. Prilikom uzimanja iz oglednog polja biljke su koso zasecane na prizemnoj internodiji. U laboratoriji su biljke držane tako što su bile postavljane u vodu po dužini jedne internodije. Dva časa pre fluorescentnog eksperimenta sve biljke su držane u staklenom zvonu crne boje. Sa takvih biljaka uziman je segment intaktnog lista iznad klipa i stavljan je u komoru fosforoskopa. Segment lista je držan u komori (u mraku) najmanje 15 minuta. Ova ispitivanja vršena su na 268 biljaka za svaku samooplodnu liniju.

Poboljšani, neinvazivni fotosintetično-fluorescentni metod za merenje ZF hlorofila shematski je prikazan na Sl. 1. Ovaj metod razvijen je i više puta poboljšavan u Institutu za kukuruz "Zemun Polje". Fotosintetično-fluorescentna merenja vršena su po metodu koji je u principu i pojednostima opisan u radovima, **Radenović**, 1994, 1997, **Marković i sar.**, 1996, **Radenović i sar.**, 2001a, 2001b, 2002, 2004a, 2004b, 2007, 2008a, 2008b.



*Slika 1. Principijelna šema fotosintetično-fluorescentnog metoda i aparature za merenje zakasnele fluorescencije hlorofila: C - mračna komora sa postoljem za uzorke; S - uzorak (segment intaknog lista), filteri, ELS - izvor ekscitirajuće svetlosti, PH - fotomultiplikator; O - osciloskop, R - pislač, ELB - ekscitirajući zrak, DF - luminescentna svetlost (zakasnela fluorescencija), IS - ulazni prorez u mračnu komoru, OS - izlazni prorez iz komore*

*Experimental setup of the photosynthetic - fluorescence method and the measuring equipment for delayed chlorophyll fluorescence: C - dark chamber with a sample stand; s - sample (intact leaf segment), filters, ELS - excitation light source, PH - photo-multiplier; O - oscilloscope, R - printer, ELB - excitation light beam, DF - luminescent light (delayed fluorescence), IS - input chamber slot, OS - output chamber slot*

3. *Dinamika promene stanja vode u zrnu.* - Treća serija eksperimenata odnosila se na stanje vode i dinamiku njenog bržeg otpuštanja iz zrna u toku sazrevanja, što je praćeno primenom termičke metode sušenja zrna do konstantne mase na temperaturi od 105°C.

Za ova merenja uziman je prosečan uzorak zrna sa pet klipova. Za merenje stanja vode u zrnu birane su biljke kod kojih je došlo do pojave crnog sloja u zrnu, odnosno do stanja fiziološke zrelosti. Merenje promene stanja vode u zrnu vršeno je posle 7 dana i trajalo je 35 dana. Ispitivanje dinamike transportnih procesa (otpuštanje vode iz zrna) u periodu njegovog sazrevanja trajalo je najmanje pet

godina. Do ovakvog dugog merenja dolazilo je zbog velike nestabilnosti ovog svojstva kod većine samooplodnih linija i hibrida kukuruza, **Radenović i sar.**, 2008a, 2008b.

4. *Funkcionalna zavisnost između prinosa izabranih hibrida kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova i njihovih gustina u usevu.* - Razmatranje funkcionalne zavisnosti između prinosa izabranih hibrida kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova i njihovih gustina u usevu, vršeno je primenom standardnih metodskih operacija gajenja sa sedam gustina u prirodnim uslovima i u navodnjavanju, **Videnović i sar.**, 1995, 2001.

5. *Hemijski sastav, fizičke karakteristike i struktura zrna hibrida kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova.* - Metode koje su korišćene za određivanje hemijskog sastava, fizičkih karakteristika i strukture zrna hibrida kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova opisane su detaljnije u ranije objavljenim radovima, **Bekrić**, 1997, **Radosavljević i sar.**, 2000, 2002.

## Rezultati i diskusija

**1. Veličina ugla i lisne površine prvog lista iznad klipa za samooplodne linije kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova.** - Rezultati veličine ugla između prvog lista iznad klipa i stabljike, kao i prosečne lisne površine dati su u Tabeli 1. Iz dobijenih rezultata za veličinu ugla sledi da proučavane prestižne samooplodne linije kukuruza spadaju u grupu samooplodnih linija sa uspravnim položajem vršnih listova. Međutim, lisna površina nema karakteristike koje bi posebno odlikovale proučavane prestižne samooplodne linije kukuruza.

Tabela 1. Ugao prvog lista iznad klipa i lisna površina elitnih samooplodnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova

Samooplodna linija Inbred line	FAO grupa zrenja FAO maturity group	Heterotično poreklo linije* Heterotic origin of the inbred*	Ugao prvog lista iznad klipa Angle of the above-ear leaf		Lisna površina prvog lista iznad klipa (cm <sup>2</sup> ) Area of the above-ear leaf (cm <sup>2</sup> )	
			$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
ZPPL 16	700	Zemun Polje - BSSS	18,26°	1,120	3628,44	328,22
ZPPL 218	700	Zemun Polje - Lankaster	22,12°	1,361	3906,35	412,14
ZPPL 62	350	Zemun Polje - BSSS	20,30°	1,211	3330,21	318,43

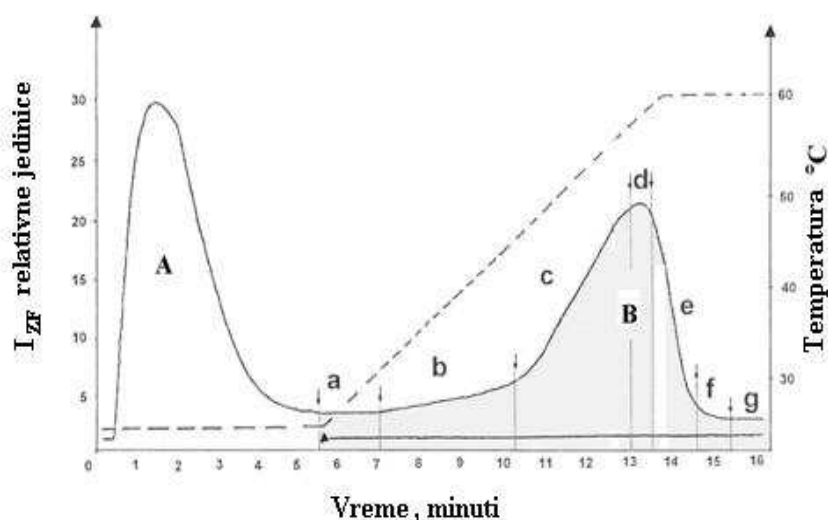
\*Proučavane samooplodne linije predstavljaju dobre heterotične parove, odlikuju se dobrim opštim kombinacionim sposobnostima za prinos zrna, dobro se umnožavaju i rodne su.

\*Studied inbred lines represent good heterotic pairs, they are characterised as good general combiners for grain yield, they increase well and they are high yielding.

## 2. Rezultati fotosintetično-fluorescentnih proučavanja prvog lista iznad klipa za samooplodne linije kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova. -

Vršena su detaljna proučavanja termalnih procesa ZF hlorofila ispitivanih samooplodnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova. Kriva koja pokazuje dinamiku promene intenziteta stacionarnog nivoa ZF hlorofila u zavisnosti od temperature, naziva se termalna kriva. Trend njenog uspostavljanja najčešće je analogan promenama u trajanju segmenata u sekundama, označenih sa a, b, c, d, e, f i g, Slika 2.

Ispitivanjem toka termalne krive i analizom trajanja pojedinih segmenata moguće je doći do saznanja o postojanju većeg broja kritičnih temperatura (temperature faznih prelaza) na kojima dolazi do manjih ili većih strukturnih i funkcionalnih

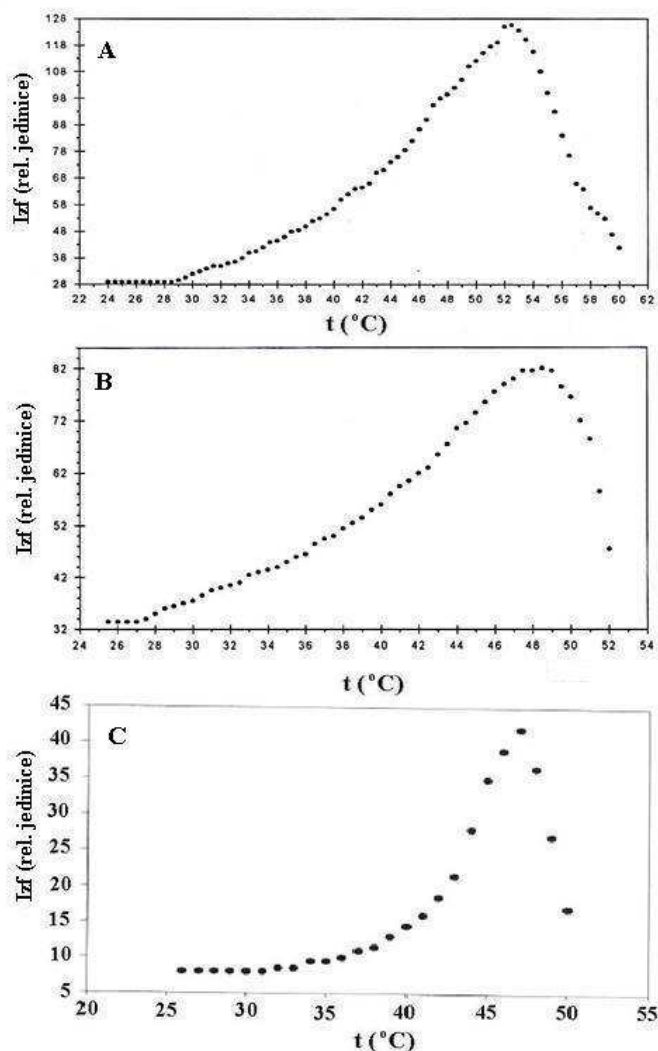


Slika 2. Shematski prikaz tipičnih promena intenziteta zakasnele fluorescencije hlorofila ( $I_{ZF}$ ) na intaktnom prvom listu iznad klipa proučavanih prestižnih samooplodnih linija kukuruza (puna linija) i promene temperature (isprekidana linija): Kriva **A** označava indukzione procese ZF hlorofila, kriva **B** obuhvata fotosintetično-fluorescentne termalne procese ZF hlorofila. Tipični vremenski segmenti (**a**, **b**, **c**, **d**, **e**, **f** i **g**) na termalnoj krivoj **B** odgovaraju dinamici promene  $I_{ZF}$  u vremenu uspostavljanja ZF hlorofila. Na mestu dodira tipičnih vremenskih segmenata dolazi do strukturnih i funkcionalnih promena u tilakoidnoj membrani proučavanih samooplodnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova.

Schematic presentation of typical changes of DF intensities ( $I_{ZF}$ ) on the intact above-ear leaf of the observed prestigious maize inbred lines (solid line) and changes of temperatures (dashed line): curve **A** indicates induction processes of DF, while curve **B** encompasses photosynthetic fluorescence thermal processes of DF. Typical temporal segments (**a**, **b**, **c**, **d**, **e**, **f** and **g**) on the thermal curve **B** correspond to dynamics of  $I_{ZF}$  changes at the time of a DF formation. Conformational and functional changes in the thylakoid membrane of observed maize inbred lines with erect top leaves occur at interception points of typical temporal segments.

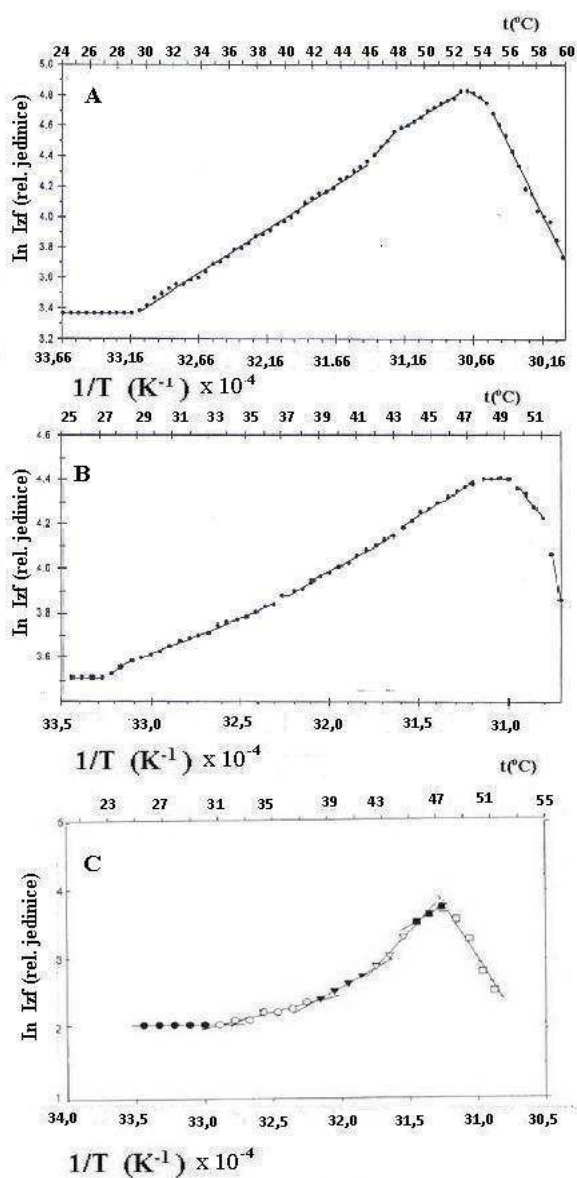
promena u tilakoidnoj membrani proučavanih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova.

**2.1 Temperaturna zavisnost intenziteta zakasnele fluorescencije hlorofila za tilakoidnu membranu samooplodnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova . - Na Slici 3A, B, C, date su promene intenziteta**



Slika 3. A,B,C Promena intenziteta zakasnele fluorescencije hlorofila ( $I_{zf}$ ) termalnih procesa u zavisnosti od delovanja temperature u tilakoidnoj membrani intaktnog prvog lista iznad klipa prestižnih samooplodnih linija kukuruza: ZPPL 16(A), ZPPL 218(B), ZPPL 62(C) sa uspravnim položajem vršnih listova. Changes of the intensity of the delayed chlorophyll fluorescence ( $I_{DF}$ ) of thermal processes in dependence on the effects of temperatures in the thylakoid membrane of the intact above-ear leaf of the prestigious maize inbred lines: ZPPL 16(A), ZPPL 218(B), ZPPL 62(C).





Slika 4A, B, C Arrheniusov kriterijum za određivanje kritičnih temperatura (presek dveju pravih linija) i strukturnih promena u tilakoidnoj membrani intaktnog prvog lista iznad klipa proučavanih prestižnih linja kukuruza: ZPPL 16(A), ZPPL 218(B) i ZPPL 62(C) sa uspravnim položajem vršnih listova.

The Arrhenius plot for the determination of critical temperatures (intersection of two straight lines) and conformational changes in the thylakoid membrane of the above-ear leaf of observed prestigious maize inbred lines: ZPPL 16(A), ZPPL 218(B) and ZPPL 62(C).

stacionarnog nivoa ZF hlorofila u funkciji temperature, za opseg 25-60°C, u tilakoidnoj membrani samooplodnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova: ZPPL 16, ZPPL 218 i ZPPL 62.

**2.2 Arenijusov kriterijum za utvrđivanje kritičnih temperatura i strukturnih promena u tilakoidnoj membrani samooplodnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova.** - Arenijusov kriterijum zasnovan je na postupku linearizacije temperature zavisnosti ZF hlorofila ispitivanih samooplodnih linija kukuruza, Slika 3A, B, C. Njime se utvrđuju kritične temperature (temperature faznih prelaza) na kojima dolazi do strukturnih promena u tilakoidnoj membrani (mesta gde se seku prave linije). Rezultati primene Arenijusovog kriterijuma na proučavane prestižne samooplodne linije kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova dati su na Slici 4A, B i C.

**2.3 Energija aktivacije i kritične temperature u tilakodinoj membrani proučavanih samooplodnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova.** - U sklopu detaljnih proučavanja termalnih procesa ZF hlorofila, a posebno pri analizi toka termalne krive, pored temperature zavisnosti i Arenijusovog kriterijuma, izvršeno je obračunavanje veličine energije aktivacije i za kritične temperature (temperature faznih prelaza) u tilakoidnoj membrani ispitivanih prestižnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova: ZPPL 16, ZPPL 218 i ZPPL 62. Rezultati ovih ispitivanja dati su u Tabeli 2.

*Tabela 2. Promena energija aktivacije (Ea) i kritičnih temperatura (t°C) za vreme termalnih procesa u tilakoidnoj membrani intaktnog prvog lista iznad klipa proučavanih samooplodnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova*  
*Changes in activation energies (Ea) and critical temperatures (t°C) in the course of thermal processes in the thylakoid membrane of the intact above-ear leaf of studied prestigious maize inbred lines*

ZPPL 16		ZPPL 218		ZPPL 62	
Ea, kJ/mol	t, °C	Ea, kJ/mol	t, °C	Ea, kJ/mol	t, °C
-	29,5	-	27,0	-	28,0
48,4	45,9	43,1	29,0	45,0	36,0
84,3	48,0	27,3	36,9	91,8	41,0
46,7	53,0	37,0	43,5	119,7	46,9
49,2	54,8	42,5	47,8	132,0	49,0
-	60,0	51,1	49,9	-	-

**3. Dinamika promene stanja vode u periodu sazrevanja zrna za ispitivane samooplodne linije kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova.** - Dinamika promene stanja vode i njenog otpuštanja u periodu sazrevanja zrna ispitivanih samooplodnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova, prestižno je svojstvo i njemu se takođe pridaje velika pažnja u procesima savremenog oplemenjivanja i proizvodnje kvalitetnog merkantilnog kukuruza. Rezultati ovih proučavanja dati su u Tabeli 3.



**4. Funkcionalna zavisnost između prinosa izabranih hibrida kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova i njihovih gustina.** - Rezultati ispitivanja funkcionalne zavisnosti između prinosa izabranih hibrida kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova i sedam različitih gustina, dati su u Tabelama 4 i 5.

Tabela 4. *Prinosi hibrida kukuruza (t/ha) sa uspravnim položajem vršnih listova gajenih u prirodnim uslovima Zemun Polja u sedam gustina\**  
*Yields of maize hybrids (t ha<sup>-1</sup>) with erect top leaves grown under rainfed conditions of Zemun Polje in seven sowing densities\**

Gustine Densities	ZP 341 FAO 300	ZP 434 FAO 400	ZP 578 FAO 500	ZP684 FAO 600
G1	9,28	10,14	9,82	10,79
G2	11,04	11,08	10,68	12,08
G3	11,53	11,44	11,53	12,82
G4	12,45	12,37	11,92	13,05
G5	12,12	12,26	11,99	13,25
G6	12,32	11,26	12,56	12,50
G7	11,83	11,63	11,85	12,20
$\bar{x}$	11,51	11,45	11,48	12,38

\*Rezultati dobijeni u periodu: 2003-2008. godina - Results obtained in the 2003-2008 period

Tabela 5. *Prinosi hibrida kukuruza (t/ha) sa uspravnim položajem vršnih listova gajenih u uslovima navodnjavanja Zemun Polja u sedam gustina\**  
*Yields of maize hybrids (t ha<sup>-1</sup>) with erect top leaves grown under irrigation conditions of Zemun Polje in seven sowing densities\**

Gustine Densities	ZP 341 FAO 300	ZP 434 FAO 400	ZP 578 FAO 500	ZP684 FAO 600
G1	10,02	10,90	11,32	11,16
G2	12,01	11,95	12,67	12,96
G3	12,73	12,04	13,10	13,80
G4	13,48	13,17	14,18	13,49
G5	13,55	13,89	15,00	13,84
G6	13,48	13,61	14,90	13,86
G7	13,34	13,36	14,67	14,00
$\bar{x}$	12,66	12,70	13,69	13,30

\*Rezultati dobijeni u periodu: 2003-2008. godina - Results obtained in the 2003-2008 period

Dobijeni rezultati prinosa u suvom ratarenju i u navodnjavanju za period od šest godina, pouzdano ukazuju na visok genetički potencijal rodosti ispitivanih hibrida kukuruza. Interesantno je zapaziti da između hibrida nema značajnih razlika, te se može zaključiti da svi imaju visok genetički potencijal rodosti. U navodnjavanju su svi hibridi imali veći prinos u odnosu na suvo ratarenje. U sušnim godinama, kakva je bila 2007. godina prinos je bio najniži.

**5. Hemijski sastav, fizičke karakteristike i struktura zrna hibrida kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova.** - Rezultati ispitivanja strukture, fizičkih karakteristika i hemijskog sastava zrna hibrida kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova dati su u Tabelama 6, 7 i 8.

*Tabela 6. Struktura zrna hibrida kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova*  
*Grain Structure of Maize Hybrids with Erect Top Leaves*

Hibrid Hybrid	Perikarp (%) Pericarp (%)	Klica (%) Embryo (%)	Endosperm (%) Endosperm (%)
ZP 341	6,49	12,05	81,46
ZP 434	6,49	11,86	81,65
ZP 578	6,08	11,35	82,56
ZP 684	6,39	11,79	81,82

*Tabela 7. Fizičke karakteristike zrna hibrida kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova*  
*Physical Properties of Grain of Maize Hybrids with Erect Top Leaves*

Hibrid Hybrid	AM*	HM	G	IF	OM	TF	MF	IAV
ZP 341	331,37	783,757	1,25	33,72	19,87	57,30	42,70	0,231
ZP 434	355,08	780,282	1,26	22,34	16,57	58,78	41,22	0,225
ZP 578	304,76	751,262	1,27	3,02	16,86	61,85	38,15	0,242
ZP 684	344,81	772,307	1,26	18,92	13,73	54,54	45,46	0,246

\* AM - apsolutna masa (g) - 1000-kernel weight (g); HM - hektolitarska masa ( $k\text{ gm}^{-3}$ ) - test weight ( $k\text{ gm}^{-3}$ ); G - gustina ( $\text{g cm}^{-3}$ ) - density ( $\text{g cm}^{-3}$ ); IF - indeks flotacije (%) - floatation index (%); OM - otpornost na mlevenje (s) - milling response (s); TF - tvrda frakcija endosperma (%) - hard endosperm fraction (%); MF - meka frakcija endosperma (%) - soft endosperm fraction (%); IAV - indeks apsorpcije vode - water absorption index.

*Tabela 8. Hemijski sastav zrna hibrida kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova*  
*Chemical Composition of Grain of Maize Hybrids with Erect Top Leaves*

Hibrid Hybrid	Skrob (%) Starch	Protein (%) Protein	Ulje (%) Oil	Celuloza (%) Fibre	Pepeo (%) Ash
ZP 341	69,00	9,33	5,75	1,98	1,33
ZP 434	69,02	9,42	5,87	1,99	1,37
ZP 578	72,99	8,64	5,08	1,82	1,33
ZP 684	70,52	8,84	4,82	2,06	1,37

Već je rečeno da će druga polovina XX i prva dekada XXI veka ostati zapamćeni po velikom uspehu u oplemenjivanju, proizvodnji hibridnog semena i kvalitetnog merkantilnog kukuruza. Ta, gotovo spontana i veoma masovna aktivnost, imala je vrlo raširen i kompleksan program u oplemenjivanju i semenarstvu

kukuruzu. Njen cilj je bio jasan i konkretan – ostvariti što je moguće veći prinos sa novostvorenim hibridima kukuruza i obezbediti dovoljne količine kvalitetnog hibridnog semena. Počev od 1978. godine, dolazi do energičnog nastojanja da se poveća broj biljaka po jedinici površine. Taj trend i organizovana aktivnost u oplemenjivanju, semenarstvu kukuruza vodio se kao program „gustina biljaka“ i najdirektnije je uticao na dalje povećavanje prinosa kvalitetnog merkantilnog kukuruza, **Radenović i sar.**, 1978. Gotovo paralelno sa programom gustina biljaka nastao je program stvaranja samooplodnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova. Smatralo se, shodno današnjoj našoj hipotezi, da su upravo samooplodne linije kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova najbliže pretpostavljenom efikasnom fotomodelu, **Radenović i sar.**, 1978, 2000, 2001b, 2003a, 2004a; **Radenović i Grodzniskij**, 1998. Ova dva programa u oplemenjivanju i semenarstvu kukuruza ne samo što su se međusobno dopunjavala, nego su se i značajno raširila. Sa njihovom masovnom realizacijom postignuti su novi vrlo značajni rezultati kako u oplemenjivanju, tako i u proizvodnji hibridnog semena kukuruza, **Ivanvić i sar.**, 1995, **Trifunović**, 1986, **Dumanović**, 1986, **Kojić**, 1993. Tako, stvoreni su novi i brojni hibridi kukuruza za zmo i silažu, koji su se značajno širili jer su bili vrlo prinostni i kvalitetni, **Duvick**, 1984, **Russell**, 1986, **Dumanović**, 1986, **Hallauer**, 1988, **Kojić**, 1993; **Ivanvić i sar.**, 1995.

Imajući u vidu napred rečeno, bilo je normalno očekivati da Institut za kukuruz "Zemun Polje" preuzme značajnu ulogu u daljem razvijanju navedenih programa u oplemenjivanju sa samooplodnim linijama kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova, **Radenović i sar.**, 1978, 2001b, 2003a, 2003b, 2004a, 2004b, 2008a, 2008b; **Radenović i Grodzniskij**, 1998. Prva proučavanja uspravnog položaja listova u Institutu za kukuruz vršena su na listu ispod klipa, a mnogo više na listovima na klipu, **Radenović i sar.**, 2003a, 2004a, 2004b, 2007. U poslednje vreme izučavaju se vršni listovi samooplodnih linija kukuruza. Posebno se izučava prvi list iznad klipa, ali i ostali vršni listovi do metlice. Ovi listovi ostvaruju najefikasnije i najduže fotosintetske procese neophodne biljci kukuruza, **Radenović i Grodzniskij**, 1998. Shodno rečenom izneta je hipoteza da upravo vršni listovi ostvaruju efikasnu ulogu fotomodela kukuruza.

U ovom radu učinjen je pokušaj da se posredstvom nekoliko različitih proučavanja i analiza, sagleda odgovor na pitanja. Prvo, da li i danas postoje pouzdana i dominantna svojstva samooplodnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova, sa kojima se može postići planirani i zadovoljavajući progres u oplemenjivanju i proizvodnji kvalitetnog hibridnog semena kukuruza? I drugo, kakve bi to samooplodne linije kukuruza mogle biti u odnosu na priznata i relevantna selekciona i semenarska svojstva?

Bar delimičan odgovor na postavljena pitanja moguće je potražiti preko kraćeg osvrta na ostvarene rezultate više serija eksperimentalnih istraživanja. Ukupna proučavanja samooplodnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova, obuhvatala su nekoliko serija eksperimenata. Prva serija eksperimenata obuhvatala je utvrđivanje veličine ugla i lisne površine proučavanih prestižnih samooplodnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova, što ih, shodno izloženim

rezultatima (Tabela 1.) svrstava u značajna selekciona i semenarska svojstva, **Radenović i sar.**, 2008a, 2008b. Druga serija eksperimenata obuhvatala je fotosintetično-fluorescentna pručavanja strukturnih i funkcionalnih promena u tilakoidnoj membrani intaktnog prvog lista iznad klipa za prestižne samooplodne linije kukuruza. Temperaturna zavisnost termalnih procesa ZF hlorofila za ispitivane samooplodne linije kukuruza data je u vidu trenda njihovih uspostavljanja, Slika 2. Međutim, konkretni rezultati temperaturne zavisnosti ZF hlorofila, za sve tri prestižne samooplodne linije kukuruza, sa uspravnim položajem vršnih listova, dati su na Slici 3A, B, C. Sledi da temperaturnu zavisnost ZF hlorofila kod sve tri samooplodne linije kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova, karakterišu tipična mesta dodira dva segmenta na termalnoj krivoj, Slika 2. Prvo tipično mesto javlja se na dodiru segmenta **a** i segmenta **b** i ono označava najnižu kritičnu temperaturu na kojoj se zapaža početna promena intenziteta ZF hlorofila. Drugo tipično mesto javlja se na dodiru segmenta **b** i segmenta **c** i odnosi se na linearnu monotonost sa uglom rastućeg dela krive intenziteta ZF hlorofila. U ovom predelu došlo je do evidentnih strukturnih promena u tilakoidnoj membrani. Treće tipično mesto, odražava manju ili veću zaobljenost krive maksimalno dostignutog intenziteta ZF hlorofila. Ovde su se desile prelomne "strukturne" promene na dva mesta dodira segmenta **c** sa segmentom **d**, i segmenta **d** sa segmentom **e**. Četvrto tipično mesto odnosi se na linearnu monotonost i ugao nagiba opadajućeg dela termalne krive za intenzitet ZF hlorofila. Ovaj segment termalne krive nosi u sebi poslednje strukturne promene do kojih je došlo u tilakoidnoj membrani. Te promene teško da imaju obeležje funkcionisanja živog lista. Tipična mesta dodira označena sa **f** i **g** nemaju gotovo nikavku fiziološku ulogu. Analizirana tipična mesta dodira (Slike 2 i 3A, B, C) mogu se smatrati kao mesta koja karakterišu samooplodne linije kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova, pošto su upravo to mesta strukturnih i funkcionalnih promena u tilakoidnoj membrani, **Radenović i sar.**, 2003a, 2003b, 2004a, 2004b, 2007.

Arenijusovim kriterijumom i linearizacijom temperaturne zavisnosti ZF hlorofila utvrđene su sve kritične temperature (temperature faznih prelaza) na kojima dolazi i do najmanjih strukturnih promena u tilakoidnoj membrani prestižnih samooplodnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova. Vrednosti kritičnih temperatura u °C, njihova frekvencija i međusobna udaljenost karakterišu proučavane samooplodne linije kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova u odnosu na njihovu tolerantnost, otpornost, plastičnost i adaptivnost prema višim i visokim temperaturama, ali i prema suši, **Radenović i sar.**, 2001a, 2001b, 2002, 2003a. Arenijusov kriterijum zasnovan je na postojanju pravih linija. Svaka Arenijusova prava linija reprezentuje svoju energiju aktivacije ( $E_a$ ). Mesto, gde se dve prave linije presecaju, označeno je sa kritičnom temperaturom. Rezultati vrednosti  $E_a$  u rastućem i opadajućem delu termalne krive, objašnjavaju se time da sa porastom temperature dolazi do manjih ili većih strukturnih promena kod molekula pigemata (hlorofil) u tilakoidnoj membrani usled čega ti molekuli postaju reaktivniji, a time oni stiču dodatnu energiju, koja se koristi u rekombinacionom procesu

nastajanja ZF hlorofila (Tabela 3), **Radenović**, 1994, 1997, **Radenović i sar.**, 2003a, 2003b, 2004a, 2004b.

Pokazana fotosintetično-fluorescentna svojstva ispitivanih prestižnih linija kukuruza, sa uspravnim položajem vršnih listova, mogu doprineti egzaktnijem, racionalnijem i bržem odvijanju procesa oplemenjivanja i proizvodnje hibridnog semena kukuruza, što ove samooplodne linije čini posebno značajnim.

Treća serija eksperimenata obuhvatala je termalna proučavanja specifičnog stanja vode u znu i dinamiku njenog otpuštanja iz njega u periodu sazrevanja. Transportni procesi i otpuštanje vode iz zrna u periodu njegovog sazrevanja su značajna i prestižna svojstva i njima se pridaje veliki ekonomski i naučni značaj, ne samo pri proučavanju i stvaranju linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova, nego i pri organizovanju proizvodnje hibridnog semena kukuruza, **Radenović**, 1998. Brzina otpuštanja vode iz zrna u periodu sazrevanja vrlo je složen proces i zavisi od više parametara, i to: a) osmotskog pritiska u znu u periodu njegovog sazrevanja. Na njega znatno utiče spoljašnji atmosferski pritisak koji je sklon velikim promenama (česta i intenzivna vazдушna strujanja, znatne promene relativne vlage i ts.) što doprinosi njegovom nejednakom menjanju. Pored toga, osmotski pritisak u znu zavisi od strukturnih karakteristika hemijskih jedinjenja i prirode hemijske veze vode sa njima, b) strukture i debljine perikarpa i njegove propusne sposobnosti za vodu, odnosno transportnog kapaciteta vode kroz ovakvu strukturu, c) sadržaj i struktura skrobnih zrnaca, uključujući i njihov afinitet za vezivanje vode sa njima, d) morfološka svojstva klipa, e) morfološka svojstva zrna i f) drugi fizičko-hemijski parametri hemijskih struktura zrna, koji sa vodom ostvaruju interakciju.

U ovom radu vršeno je ispitivanje prinosa hibrida kukuruza: ZP-341, ZP-434, ZP-578 i ZP-684, sa uspravnim položajem listova u periodu od šest godina. Iz rezultata, Tabele 4 i 5, proizilazi da ispitivani hibridi imaju visoke i stabilne prinose, kako u prirodnim uslovima, tako i u uslovima u navodnjavanju. Ispitivani hibridi kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova dobro podnose gustinu do 70000 bilj/ha. Više gustine hibrida u usevu najčešće depresivno deluju na prinos i uslovljavaju znatno veća ulaganja i troškove, **Kolčar**, 1974, **Videnović i sar.**, 1995, 2001.

Isto tako, iz rezultata istraživanja, Tabela 6, 7 i 8, može se steći slika o strukturnim parametrima zrna (perikarp, klica i endosperm), fizičkim karakteristikama i hemijskom sastavu što ukazuje na izvanredan kvalitet merkantilnog kukuruza proučvanih hibrida sa uspravnim položajem vršnih listova. Merkantilni kukuruz izabranih hibrida je uzornog kvaliteta što omogućava raznovrsnu namenu pri njegovom iskorićavanju, **Bekrić**, 1997, **Radosavljević i sar.**, 2000, 2002.



### **Zaključak**

Na osnovu rezultata istraživanja i diskusije može se konstatovati da se neinvazivni fotosintetično-fluorescentni metod može koristiti u oplemenjivanju i proizvodnji hibridnog semena kukuruza radi utvrđivanja ocene prestižnih samooplodnih linija kukuruza na otpornost i adaptivnost prema višim i visokim temperaturama kao i prema suši. Njegovom primenom utvrđene su brojne karakteristike i parametri fotosintetičnog aparata, proučavanih prestižnih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova:

Praćena je temperaturna zavisnost u opsegu 24-60°C,

Određene su vrednosti za temperature na kojima dolazi do manjih i većih strukturnih i funkcionalnih promena u tilakoidnoj membrani,

Određene su vrednosti za energije aktivacije ( $E_a$ , kJ/mol) duž pravih linija pre i posle pojave kritičnih temperatura u termalnom procesu,

Utvrđena je različita monotonost u rastućem delu intenziteta termalne krive što ukazuje na nejednaku otpornost i adaptivnost ispitivanih linija kukuruza prema višim i visokim temperaturama, kao i prema suši,

Pokazano je da proučavane prestižne linije kukuruza poseduju svojstvo uspravnog položaja vršnih listova i bržeg otpuštanja vode iz zrna u toku njegovog sazrevanja.

Analizirana su i neka relevantna svojstva hibrida kukuruza, stvorenih od navedenih linija kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova, i to sa stanovišta zavisnosti njihovih prinosa od gustine useva, kao i sa stanovišta kvaliteta merkantilnog kukuruza dobijenog od proučavanih hibrida kukuruza. Pokazano je da ispitivani hibridi kukuruza pozitivno podnose gustinu useva sve do gustine od 70.000 bilj/ha. Takođe je pokazano da merkantilni kukuruz, proučavanih hibrida sa uspravnim položajem vršnih listova, ima izvanredan kvalitet, što omogućava raznovnu primenu.

### **Zahvalnica**

Realizacija programa oplemenjivanja i proizvodnje kvalitetnog hibridnog semena kukuruza sa uspravnim položajem vršnih listova, obavljena je uz primenu fotosintetičnih i fluorescentnih metoda u poslednjih dvadeset pet godina. Za njegovu realizaciju najveća finansijska sredstva ulagao je Institut za kukuruz "Zemun Polje", a delimično i Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Srbije (brojevi projekata: 03E211, 03E22, 142025, TR-20003, TR-20007, TR-20014).

**Literatura**

- Barber, J.** and **J. Neumann** (1974): An energy conservation site between H<sub>2</sub>O and DBMIB: evidence from msec delayed light and chlorophyll fluorescence studies in chloroplasts. *FEBS Lett.* **40** (1): 196-199.
- Bekrić, V.** (1997): Kvalitet kukuruza i kako ga meriti. U: Upotreba kukuruza. Izdavač Institut za kukuruz "Zemun Polje", Beograd, str. 201-204..
- Bukhov, N.G., M.G. Rakhiberdyeva** and **N.V. Karapetyan** (1989): Nature of slow transient phenomena of variable and delayed fluorescence in leaves. *Soviet Plant Physiol.* **36**, 1045-1054 (na ruskom).
- Dumanović, J.** (1986): Savremeni programi oplemenjivanja kukuruza. Zb. rad. Naučnog skupa "Genetika i oplemenjivanje kukuruza - dostignuća i nove mogućnosti", 11-12. decembar 1986, Beograd, Jugoslavija, str. 77-94.
- Duvick, D.N.** (1977): Genetic rates of gain in hybrid maize yields during the past 40 years. *Maydica* **22** (4): 187-196
- Duvick, D.N.** (1984): Genetic Contribution to Yield Gains of U.S. Hybrid Maize, 1930-1980. In: Genetic contributions to yield gains of five major Crop Plants, ed. W.R. Fehr, CSSA, Spec. Publ. 7, CSSA and ASA, Madison, WI, U.S.A., pp. 15-47.
- Dzhibladze, T.G., N.G., Bukhov** and **N.V. Karapetyan** (1988): Relations between kinetic curves of variable fluorescence and decisecond component of delayed fluorescence in plant leaves. *Biofizika* **33**, 121-125 (na ruskom).
- Fellner, M., E. David Ford** and **E. Van Volkenburgh** (2006): Development of erect leaves in a modern maize hybrids is associated with reduced responsiveness to auxin and light of young seedlings in vitro. *Plants signaling and behavior* **1** (4): 201-211.
- Govindjee, M. Van Der Ven** and **G. Papageorgiou** (1971): Chlorophyll fluorescence and photosynthesis; fluorescence transients. In: *Photophysiology, Current Topics in Photobiology and Photochemistry*, ed. A. C. Giese, Academic Press, New York, Vol. VI, pp. 1-47.
- Govindjee, M. Van Der Ven, C. Preston, M. Seibert** and **E. Gratton** (1990): Chlorophyll a fluorescence lifetime distribution in open and closed photo system II reaction centre preparation. *Biochim. Biophys. Acta* **1015**: 173-179.
- Hallauner, A.R.** (1988): Modern methods in maize breeding. Book of Proceedings of the Working shop on Maize Breeding and Maize Production EUROMAIZE '88, October 6-8, 1988, Belgrade, Yugoslavia, pp. 1-20.
- Haveman, J.** and **J. Lavorel** (1975): Identification of the 120 mus phase in the decay of delayed fluorescence in spinach chloroplasts and subchloroplasts particles as the intrinsic back reaction. The dependence of the level of this phase on the thylakoids internal pH. *Biochim. Biophys. Acta* **408** (3): 269-283.

- Hipkins, M.F.** and **J. Barber** (1974): Estimation of the activation energy for millisecond delayed fluorescence from uncoupled chloroplasts. *FEBS Lett.* **42** (3): 289-292.
- Holzappel, C.** and **A. Haug** (1974): Time course of microsecond delayed light emission from *Scenedesmus obliquus*. *Biochim. Biophys. Acta* **333**: 52-58.
- Ivanović, M., R. Petrović, G. Drinić, V. Trifunović, L. Kojić, M. Vuković, M. Mišović, G. Radović, D. Ristanović, Z. Pajić, B.V. Trifunović i D. Jelovac** (1995): Pedeset godina selekcije ZP hibrida kukuruza. Knj. rad. Simpozijuma sa međunarodnim učešćem "Oplemenjivanje, proizvodnja i iskorišćavanje kukuruza - 50 godina Instituta za kukuruz "Zemun Polje"", 28-29. septembar 1995, Beograd, Jugoslavija, str. 3-16.
- Jursinic, P.** (1986): Delayed Fluorescence: Current Concepts and Status. In: *Light Emission by Plants and Bacteria*, ed. Govindjee, Ames & Fork CD, Academic Press, Orlando, FL, USA, pp. 291-328.
- Jursinic, P., Govindjee** and **M. Van Der Ven** (1982): Effects of hydroxylamine and silicomolybdate on the decay of delayed light emission in the 6-100 microsecond range after a single 10 ns flash in pea thylakoids. *Photosynth. Res.* **3**; 161-177.
- Krause, G.H.** and **E. Weis** (1991): Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basic. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* **42**, 313-349.
- Kojić, L.** (1993): Урожайность ЗП гибридов кукурузы разных периодов селекции. *Кукуруза* **93**: 1-13.
- Kojić, L. M. Ivanović** (1986): Dugoročni programi oplemenjivanja kukuruza. Zb. rad. Naučnog skupa "Genetika i oplemenjivanje kukuruza - dostignuća i nove mogućnosti", 11-12. decembar 1986, Beograd, Jugoslavija, str. 57-75.
- Kolčar, F.** (1974): Osnovni elementi tehnološkog procesa proizvodnje kukuruza na černozeru, izd. Nolit, Beograd.
- Lichtenthaler, H.K.** and **U. Rinderle** (1988): The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants. *CRC Crit. Rev. Anal. Chem.* **19** (Suppl. I): S29-S85.
- Marković, D., M. Jeremić i Č. Radenović** (1996): Zakasnela fluorescencija hlorofila, U: *Savremena biofizika*, izd. Velarta, Beograd **4**: 1-105.
- Marković, D., M. Jeremić, Č. Radenović** and **M. Schara** (1993): Irreversible structural changes in thylakoid membranes at high temperatures detection by luminescence and EPR. *Gen. Physiol. Biophys.* **12** (1): 37-47.
- Marković, D., M. Jeremić, Č. Radenović** and **Ž. Vučinić** (1987): A study of temperature induced structural changes in photosynthetic system using delayed fluorescence. *J. Ser. Chem. Soc.* **52**: 331-336.
- Marković, D., Č. Radenović, L. Rafailović, S. Žerajić, M. Jeremić** and **M. Marković** (1999): Temperature dependence of delayed fluorescence induction curve transient. *Gen. Physiol. Biophysics* **18** (3): 257-267.

- McCauley, S.W.** and **R.H. Rubby** (1981): Delayed fluorescence induction in chloroplasts. Irradiation dependence. *Biochim. Biophys. Acta* 638: 268-274.
- Papageorgiou, G.** (1975): Chlorophyll Fluorescence: Intrinsic Probe of Photosynthesis. In: *Bioenergetics of Photosynthesis*, ed. Govindjee, Academic Press, New York, pp. 319-371.
- Radenović, Č.** (1992): Investigation of photoinduced bioluminescence in maize leaf. *Contemp. Agric.* 40 (6): 15-38.
- Radenović, Č.** (1994): A study of delayed fluorescence in plant models: Photosynthetic transportation and membrane processes. *J. Ser. Chem. Soc.* 59: 595-617.
- Radenović, Č.** (1997): Induction process and activation energy of delayed chlorophyll fluorescence. *Book of Proceedings of Nat. Sci. Matica Srpska* 93: 5-14.
- Radenović, Č.** (1998): Transportni procesi kroz membranu. U: *Savremena biofizika*, izd. Velarta, Beograd. 5: 1-90.
- Radenović, Č., M. Babić, N. Delić, Z. Hojka, G. Stanković, B.V. Trifunović, D. Ristanović** and **D. Selaković** (2003a). Photosynthetic properties of erect leaf maize inbred lines as the efficient photo-model in breeding and seed production. *Genetika* 35 (2): 85-97.
- Radenović, Č., M. Babić, N. Delić** and **D. Ristanović** (2003b): Effect of changes in thylakoid membranes - a measure for evaluation of resistance and adaptability of maize inbred lines to high temperatures. *Book of Proceedings of Nat. Sci. Matica Srpska* 101: 59-69
- Radenović, Č., M. Babić, N. Delić, I. Šatraić** i **L. Kojić** (2002): Новый фотосинтетическо-биолюминесцентный метод в селекции кукурузы. *Кукуруза и сорго* 4: 21-24.
- Radenović, Č., M. Babić, Z. Hojka, G. Stanković, B.V. Trifunović, D. Ristanović, N. Delić** i **D. Selaković** (2004a): Характеристика инбредных линий кукурузы с вертикально стоящими листьями для эффективного использования в селекции. *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук* 2: 7-9.
- Radenović, Č., M. Filipović, M. Babić, G. Stanković, A. Radojčić, M. Sečanski, J. Pavlov, D. Branković Radojčić** and **D. Selaković** (2008a): Actual prestigious of maize inbred lines - a good initial basis for the efficient development of new and yielding maize hybrids. *Genetika* 40 (2): 121-133.
- Radenović, Č.** and **D. Grodzinskij** (1998): Erect leaf maize inbred lines - an efficient photosynthetic model. A written communication Belgrade-Kiev and vice versa.
- Radenović, Č., Z. Hojka, D. Selaković, M.M. Mišović, M. Pavlov** and **M. Sečanski** (2004b): Fotosynthetic properties of elite erect leaf maize inbred lines and their contribution to seed production improvement. *Book of Proceedings of Nat. Sci. Matica Srpska* 106: 45-56.
- Radenović, Č.** and **M. Jeremić** (1996): The study of delayed light emission in a plant models. *Arch. Biol. Sci.* 48 (1-2): 1-18.

- Radenović, Č., M. Jeremić i D. Marković** (1994a): Фотоиндуцированная биолуминисценция растений: фотосинтетические, транспортные и мембранные процессы. Физиология и биохимия культурных растений **26** (5): 419-433.
- Radenović, Č., M. Jeremić and D. Marković** (1994b): Delayed chlorophyll fluorescence in plants models. *Photosynthetica* **30**: 1-24
- Radenović, Č., K. Konstantinov, N. Delić and G. Stanković** (2007): Photosynthetic and bioluminescence properties of maize inbred lines with upright leaves. *Maydica* **52** (3): 347-356
- Radenović, Č., D. Ristanović and V. Trifunović** (1978): The theoretical and the development programme on the increase of the plant number per area unit for the development of erect leaf maize lines and for their more effective application in breeding. The internal note, Maize Research Institute, Zemun Polje, Belgrade, pp. 1-3.
- Radenović, Č., D. Selaković, M. Filipović, A. Radojčić, M. Sečanski and N. Radosavljević** (2008b): Svojstva prestižnih samooplodnih linija kukuruza relevantna za savremenu proizvodnju kvalitetnog hibridnog semena. *Arh. poljoprivr. nauke* **69** (246) : 79-95.
- Radenović, Č., I. Štarić, I. Husić, M.M. Mišović, M. Filipović and L. Kojić** (2000): A study of functioning of thylakoid membranes in inbred lines of maize (*Zea mays* L.). *Genetika* **32** (3): 377-38.
- Radenović, Č., I. Štarić, M. Ivanović, I. Husić and L. Kojić** (2001a): Conformational and functional changes in thylakoid membranes – parameters for evaluation of maize inbred lines resistance to temperatures and drought. *J. Sci. Agric. Res.* **62** (216-217): 5-20.
- Radenović, Č., I. Štarić, M. Ivanović i L. Kojić** (2001b): Биолуминесцентный отзыв инбредных линий кукурузы (*Zea mays* L.) на температуру и засуху. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук **4**: 13-16.
- Radosavljević, M., V. Bekrić, I. Božović and J. Jakovljević** (2000): Physical and chemical properties of various corn genotypes as a criterion of technological quality. *Genetika* **32** (3): 319-329.
- Radosavljević, M., I. Božović, R. Jovanović, V. Bekrić, S. Žilić, D. Terzić i M. Milašinović** (2002) Kvalitet zrna i tehnološka vrednost ZP hibrida kukuruza i sorti soje. *Agroznanje* **3**: 13-24.
- Rubin, A.B., A.A. Focht and P.S. Venediktov** (1988): Some kinetic properties of electron - transfer processes on the primary photosynthesis reaction, *Transaction of the Moscow Society of Naturalists* **28**: 172-184
- Russell, W.A.** (1984): Agronomic performance of maize cultivars representing different eras breeding. *Maydica* **30** (1): 85-96.
- Russell, W.A.** (1986): Contributions of breeding to maize improvement in United States, 1920s-1980s. *Iowa St. Jor. of Res.* **61**: 4-34

- Sprague, G.F.** (1984) Organization of breeding programs. 20<sup>th</sup> Ann. Illinois Corn Breeding School (USA) pp. 20-31.
- Trifunović, V.** (1986): Fourty years of modern maize breeding in Yugoslavia. pp. 5-46. In: Proc. Genetics and breeding of maize. December 11-12 1986, Ed. Maize Research Institute, Zemun Polje, Belgrade.
- Trifunović, B.V., G. Stanković, M. Rošulj and V. Trifunović** (2000): Multiple regression analysis of prolificacy and effect on yield in a synthetic population on maize (*Zea mays* L.) Genetika **32** (3): 355-362.
- Veselovski, V.A. and T.V. Veselova** (1990): Luminescent Characteristic of Plants Photosynthetic Apparatus. In: Luminescence of Plants, ed. Nauka, Moscow, Russia, , pp. 8-78.
- Videnović, Ž., M. Vesković, L. Stefanović, Ž. Jovanović i Z. Dumanović** (1995): Razvoj tehnologije gajenja kukuruza u Srbiji. Knj. rad. Simpozijuma sa međunarodnim učešćem "Oplemenjivanje, proizvodnja i iskorišćavanje kukuruza - 50 godina Instituta za kukuruz "Zemun Polje"", 28-29. septembar 1995, Beograd, Jugoslavija, str. 163-175.
- Videnović, Ž., Ž. Jovanović, B. Kresović and M. Tolimir** (2001): Effects of agroecological conditions on ZP maize hybrids. Genetika **23** (3): 397-406.

Primljeno: 30.03.2009.

Odobreno: 08.04.2009.

\* \*  
\*

## **Dominant Properties of the Efficient Photosynthetic-Fluorescence Model in Breeding and Contemporary Production of High-Quality Commercial Maize**

- Original scientific paper -

Čedomir RADENOVIĆ<sup>1,2</sup>, Milomir FILIPOVIĆ<sup>1</sup>, Života JOVANOVIĆ<sup>1</sup>,  
Živorad VIDENOVIĆ<sup>1</sup>, Dragojlo SELAKOVIĆ<sup>1</sup>, Mile SEČANSKI<sup>1</sup>,  
Marija MILAŠINOVIĆ<sup>1</sup>, Milica RADOSAVLJEVIĆ<sup>1</sup> and Zoran ČAMDŽIJA<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Maize Research Institute, Zemun Polje, Belgrade-Zemun  
<sup>2</sup>Faculty of Physical Chemistry, University of Belgrade, Belgrade

### **S u m m a r y**

The following three prestigious maize inbred lines with erect top leaves: ZPPL 16, ZPPL 218 and ZPPL 62 were observed in this study. Each of these inbreds, either as a female or a male component, was included into the development of over 45 maize hybrids. However, maize hybrids ZP 431, ZP 434, ZP 578 and ZP 684 are widely commercially used in this medium-term period.

This study conforms the hypothesis that there are elite maize inbred lines with erect top leaves and hybrids derived from them that have a dominant property of an efficient photosynthetic-fluorescence model that is successfully used in breeding and production technologies of hybrid seed and commercial maize.

The presented results on the position of top leaves, increased density, dynamics of grain dry down, quality of hybrid and commercial maize and on photosynthetic and fluorescence parameters: temperature dependence on the chlorophyll delayed fluorescence intensity, Arrhenius plot for the determination of critical temperatures (phase transition temperatures) and activation energies, show that the properties of observed inbred lines and their maize hybrids are based on positive effects and the nature of structural and functional changes that occur in their thylakoid membranes and other chemical structures of grain and leaf tissues. Furthermore, other relevant breeding and seed production properties of observed prestigious maize inbred lines and hybrids derived from them were analysed (dependence of yields on densities and quality of commercial maize on the structure of grain and physical and chemical properties).

Received: 30/03/2009

Accepted: 08/04/2009

*Adresa autora:*

Čedomir RADENOVIĆ

Institut za kukuruz "Zemun Polje"

Slobodana Bajića 1

11185 Beograd-Zemun

Srbija

E-mail: radenovic@sbb.rs

*J. Sci. Agric. Research/Arh. poljopr. nauke* 70, 249 (2009/1), 31-53

53