

## Dostignuća u oplemenjivanju suncokreta na otpornost prema volovodu

Sandra Cvejić, Siniša Jocić, Boško Dedić, Dragana Miladinović, Aleksandra Dimitrijević,  
Ivana Imerovski, Goran Malidža, Milan Jocković, Sreten Terzić, Vladimir Miklič  
Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Maksima Gorkog 30, 21000 Novi Sad, Srbija  
e-mail: sandra.cvejic@ifvcns.ns.ac.rs

### REZIME

Parazitska cvetnica, volovod (*Orobanche cumana* Wallr.) predstavlja veliki problem u proizvodnji suncokreta (*Helianthus annuus* L.). Kod osetljivih genotipova može da izazove gubitke prinosa i do 100%. Do sada je poznato osam rasa volovoda koje parazitiraju na suncokretu, označenih slovima od A do H. U prošlosti je identifikovano 5 rasa (A, B, C, D i E), dok su se pre dvadesetak godina pojavile virulentnije rase u zemljama oko Crnog mora i na području Španije. U Srbiji je dugi niz godina dominantna rasa E, mada su na pojedinim mestima prisutne i nove rase volovoda. Najčešća mera borbe protiv volovoda je hemijsko suzbijanje, mada gajenje otpornih genotipova suncokreta pokazalo se ekonomski i ekološki najbolji način prevazilaženje problema sa volovodom. Izvori otpornosti pronađeni su uglavnom u divljim vrstama roda *Helianthus*. Otpornost suncokreta prema volovodu je kontrolisana *Or* genima. Sistem otpornosti zavisi od rase volovoda i različitih izvora otpornosti. U proteklih pet decenija postignuti su značajni rezultati u oplemenjivanju suncokreta na otpornost prema volovodu. Identifikovano je pet dominantnih gena (*Or*<sub>1</sub>-*Or*<sub>5</sub>) koji kontrolišu otpornost prema pet rasa volovoda (A-E) i uspostavljen je set od pet diferencijalnih linija. Set je kasnije dopunjen sa linijama otpornim na rasu F.

U Institutu za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad intenziviran je rad na: pronalaženju izvora otpornosti prema rasama koje prevazilaze E i F, u divljim vrstama i u gajenom suncokretu, ispitivanju efekta gena i načina nasleđivanja ovog svojstva, kao i na istraživanjima na molekularnom nivou fokusirana na pronalaženje markera blisko vezanih za *Or* gene. Genotipovi su testirani u prirodno zaraženim lokalitetima: Srbiji gde je E rasa dominantna, Španiji gde je rasa F predominantna, i u Rumuniji i Turskoj gde su prisutne vrlo virulentne rase volovoda (preko rase F). Na osnovu rezultata odabrani su genotipovi otporni na rase F i one koje prevazilaze rasu F u svim ispitivanim lokalitetima. Rezultati ispitivanja načina nasleđivanja otpornosti na volovod rase veće od F ukazuju na to da je ova osobina kontrolisana jednim recesivnim genom za ispitivane otporne genotipove. Usko povezani molekularni markeri mogu olakšati i ubrzati

proces uvođenja gena otpornosti u selekcionu materijal. Mapiranjem novog gena otpornosti, u otpornim genotipovima je utvrđeno da je lociran na LG3 genetske mape suncokreta. Identifikacija blisko vezanih molekularnih markera koji će omogućiti marker asistiranu selekciju je u toku.

Još jedna mera borbe protiv volovoda je gajenje hibrida suncokreta tolerantnih na herbicide iz grupe imidazolinona (a.s. imazamoks). Ovom merom rešava se problem volovoda bez obzira na rasni sastav ove parazitske cvetnice.

**Ključne reči:** suncokret, volovod, otpornost, rase, *Or* geni.

## UVOD

Suncokret (*Helianthus annuus* L.) je jedna od najvažnijih uljanih kultura u svetu i kod nas koja se koristi u ljudskoj ishrani i u industrijske svrhe. U svetu se suncokret gaji na 20-24 miliona ha sa prosečnim prinom semena od oko 1,2 t/ha (FAOSTAT, 2013). U Srbiji proizvodne površine pod suncokretom se kreću oko 150-220 hiljada ha sa prosečnim prinom preko 2 t/ha. Prinosi semena suncokreta mogu drastično da se smanje napadom parazitske cvetnice volovoda (*Orobanche cumana* Vallr.). Volovod je rasprostranjen u skoro svim oblastima u svetu gde se gaji suncokret, sem na američkom kontinentu. Ovaj parazit se vezuje za korenov sistem biljke domaćina i iz njega crpi hranljive materije i vodu. Seme volovoda je praškasto sitno i može lako da se prenosi putem vetra, vode, ljudi, životinja itd. U zemljištu očuvava životnu sposobnost čak 15-20 godina, a klija samo u prisustvu biljke domaćina (Škorić, 1988). Osim toga, ova parazitska cvetnica razvija nove, virulentnije rase, koje prevazilaze otpornost postojećih genotipova suncokreta koji se koriste u komercijalnoj proizvodnji (Kaya et al., 2009). Prema navodima Kaya (2014) do sada je poznato osam rasa volovoda na suncokretu označenih slovima od A do H. Prvih pet rasa volovoda, tj. A, B, C, D i E identifikovao je Vranceanu (1980). U proteklih 20 godina u nekim regionima Rumunije, Bugarske, Turske, Rusije, Španije i drugih zemalja pojavile su se nove rase volovoda koje prevazilaze rasu E prema virulentnosti. Te rase označene su slovima F, G i H (Fernandez-Martinez et al., 2008; Pacureanu-Joita et al., 2009; Škorić et al., 2010). Problem je i što populacije volovoda iz različitih zemalja klasifikovanih pod istom rasom, variraju u nivou virulentnosti prema diferencijalnim linijama (Fernandez-Martinez et al., 2012). U Srbiji je dugi niz godina bila dominantna rasa E, mada su na pojedinim mestima detektovane i nove rase.

Postoje različite mere borbe protiv volovoda, ali najčešće su hemijske mere i gajenje otpornih genotipova suncokreta. Gajenje otpornih genotipova suncokreta pokazalo se ekonomski i ekološki kao najbolji način uništavanja volovoda (Škorić i sar., 2006). Izvori otpornosti se uglavnom nalaze u pojedinim divljim vrstama roda *Helianthus*, koji se interspecies hibridizacijom unose u gajene genotipove suncokreta (Škorić et al., 2010). Otpornost suncokreta prema volovodu je kontrolisana *Or* genima. Sistem otpornosti zavisi od rase volovoda i različitih izvora otpornosti. U proteklih pet decenija postignuti su značajni rezultati u oplemenjivanju suncokreta na otpornost prema volovodu. Identifikovano je pet dominantnih gena (*Or<sub>1</sub>-Or<sub>5</sub>*) koje daju otpornost prema pet rasa volovoda (A-E) i uspostavljen

je set od pet diferencijalnih linija (Vranceanu, 1980). Otpornost prema rasi F nasleđuje se u zavisnosti od izvora otpornosti i može biti: jedan dominantan gen,  $Or_6$  (Pacureanu-Joita et al., 1998; Perez-Vich et al., 2002), dva recesivna gena (Akhtouch et al., 2002) ili dva parcijalno dominantna gena (Velasco i sar., 2007). Set diferencijalnih linija je dopunjen sa linijom LC1093 koja nosi  $Or_6$  gen i otporna je na rasu F u Rumuniji i linijom P96, koja nosi dva recesivna gena  $Or_6Or_7$  i identifikovana kao otporna na rasu F u Španiji (Pacureanu-Joita et al., 1998; Fernandez-Martinez et al., 2004). Preliminarna istraživanja otpornosti na rase preko F ukazuju na postojanje izvora otpornosti u nekim divljim vrstama roda *Helianthus*. Velasco et al. (2012) su pronašli otpornost u divljem *Heliathus debilis* subsp. *tardiflorus* i ukazali na dominantno nasleđivanje gena otpornosti na rasu G.

Cilj ovog preglednog rada je da se ukaže na veoma ozbiljan problem u proizvodnji suncokreta, na parazitsku cvetnicu - volovod (*O. cumana* Vallr.), i upozori na širenje virulentnih rasa na nova područja, kao što su Srbija i susedne zemlje. Akcenat će biti na rezultatima rada tima istraživača na Institutu za ratarstvo i povrtarstvo (IFVC) na: pronalaženju izvora otpornosti prema rasama koje prevazilaze E i F u divljim vrstama kao i u gajenom suncokretu, ispitivanju efekta gena i načina nasleđivanja ovog svojstva, kao i na istraživanjima na molekularnom nivou fokusirana na pronalaženje markera blisko vezanih za *Or* gene.

## IZVORI OTPORNOSTI I SELEKCIJA OTPORNIH GENOTIPOVA SUNCOKRETA

Oplemenjivanje suncokreta u IFVC u Novom Sadu ima uspešnu i 50 godina dugu tradiciju. IFVC institute poseduje bogatu kolekciju jednogodišnjih i višegodišnjih divljih vrsta iz roda *Helianthus* (oko 900 populacija divljih vrsta suncokreta i interspecies hibrida). Kolekcija se intenzivno koristi u oplemenjivanju suncokreta primenom metoda interspecies hibridizacije za prenos poželjnih gena iz divljih vrsta u gajeni suncokret. Pored divljih vrsta IFVC poseduje gen-banku sa preko 7000 inbred linija suncokreta stvorenih iz različitih genetskih izvora, bogatu kolekciju sortnih i lokalnih populacija, kao i više populacija dobijenih različitim metodama selekcije. Ova bogata kolekcija genetskog materijala služi kako za stvaranje novih hibrida, tako i kao izvori otpornosti u slučaju pojave novih patogena kao što je sada slučaj sa novim rasama volovoda. Trenutna istraživanja fokusirana su na pronalaženju izvora otpornosti na rase volovoda prisutne u Evropi. Program istraživanja podeljen je na dugoročni (izvori se traže u divljim vrstama) i kratkoročni (izvori se traže u inbred linijama iz postojeće gen-banke).

Postupak testiranja genotipova otpornih prema volovodu je izveden u poljskim ogledima i laboratorijskim uslovima IFVC u Novom Sadu. Poljski ogledi postavljeni su u Srbiji, Španiji, Rumuniji i Turskoj na parcelama gde su prisutne virulentne rase volovoda i to u periodu od 2011-2015 godine. Otpornost suncokreta je procenjena u fiziološkoj zrelosti a nivo infekcije izračunat je kao odnos inficiranih biljaka suncokreta biljakama volovoda na ukupan broj biljaka suncokreta. Biljke su procenjivane kao osetljive (S) u slučaju da su imale najmanje jednu biljku volovoda i otporne (R) ako se na biljci suncokreta nisu nalazile biljke volovoda

(Sukno et al., 1999). U laboratorijskim uslovima genotipovi su testirani u saksijama koje su zaražavane semenom volovoda prikupljenim sa hibrida suncokreta otpornih na rasu E. Prisustvo parazitske cvetnice je procenjivano nakon pažljivog iskorenjivanja biljaka suncokreta i prebrojavanja biljaka i kvržica volovoda.

Otpornost na rasu E volovoda je u potpunosti rešena, s obzirom da svi komercijalni hibridi suncokreta stvoreni u IFVC imaju  $Or_5$  gen otpornosti. Glavni cilj programa oplemenjivanja suncokreta u pogledu otpornosti prema volovodu, je pronaći nove izvore otpornost za rase volovoda prisutne u Evropi, tj. rase koje prevazilaze E i F. U skladu sa ovim ciljem u IFVC programu oplemenjivanja suncokreta prema otpornosti na volovod testiraju se divlji srodnici suncokreta (dugoročni program), kao i gajeni suncokret, tj. genotipovi iz gen-banke (kratkoročni program).

Otpornost divljih srodnika suncokreta prema volovodu ocenjuje se na osnovu testova izvedenih u staklenicima i u poljskim uslovima. Terzić i sar. (2010) testirali su 6 višegodišnjih divljih vrsta suncokreta (*H. tuberosus*, *H. grosseserratus*, *H. mollis*, *H. nuttallii*, *H. strumosus*, *H. divarticatus*), 14  $F_1$  interspecies hibrida dobijenih ukrštanjem između višegodišnjih divljih vrsta i gajenog suncokreta, kao i 42 populacije jednogodišnjih divljih vrsta suncokreta. Za sve testirane višegodišnje vrste i 12 od ukupno 14  $F_1$  interspecies hibrida je utvrđeno da su otporni na volovod, tj. rase prisutne u Srbiji. Jednogodišnje divlje vrste su pokazale varijabilnost u pogledu otpornosti prema volovodu između ispitivanih populacija, a najveću otpornost pokazala je većina populacija *H. neglectus* i *H. petiolaris*. Dedić i sar. (2011) su ponovo testirali jednogodišnje divlje vrste suncokreta u poljskim uslovima i potvrdili otpornost kod četiri populacije *H. petiolaris*, dve populacije *H. praecox* i jednu kod *H. neglectus*. Miladinović i sar. (2012) su testirali nekoliko populacija *H. annuus* i *H. petiolaris* poreklom iz Argentine, i otkrili da su sve testirane populacije *H. annuus* bile osetljive dok su sve populacije *H. petiolaris* bile otporne na volovod. Najnovija ispitivanja otpornosti jednogodišnjih divljih vrsta na otpornost prema rasama volovoda preko F prikazani su u tabeli 1 (Terzić et al., 2016).

**Tabela 1.** Otpornost nekih vrsta *Helianthus* na volovod (rase preko F)

**Table 1.** Resistance of some *Helianthus* species to broomrape (races F and over)

Vrsta Species	Broj testiranih populacija No. of tested populations	Broj otpornih populacija No. of resistant populations	Procenat otpornih populacija Percent of resistant populations	Procenat otpornih biljaka po populaciji Percent of resistant plants per population
<i>H. petiolaris</i>	31	25	81	98
<i>H. niveus</i>	6	4	67	94
<i>H. argophyllus</i>	6	4	67	86
<i>H. debilis</i>	24	14	58	85
<i>H. praecox</i>	25	13	52	84
<i>H. neglectus</i>	17	8	47	77
<i>H. annuus</i>	73	10	14	37

Pored divljih vrsta, otpornost prema volovodu ispituje se i kod gajenih genotipova suncokreta. Genotipovi se prvo testiraju na rase prisutne u Srbiji, a onda se otporni genotipovi dodatno testiraju na lokalitetima gde su prisutne virulentnije rase volovoda u Španiji, Turskoj i Rumuniji (Cvejić et al., 2012). Na ovaj način, u IFVC selekcionom materijalu suncokreta otkrivene su inbred linije otporne na rase volovoda F i G (Cvejić et al., 2012, 2014). Prvo je otkriveno da su novostvorene inbred linije AB VL 8, LIV-10 i LIV-17 u velikoj meri otporne i/ili visokotolerantne na rasu F i G u Španiji, odnosno rasu G i više drugih rasa u Rumuniji i Turskoj. Ove linije su odabrane iz populacija dobijenih ukrštanjem *H. tuberosus* i *H. divaricatus* sa gajenim suncokretom (Cvejić et al., 2012). Kasnije je otkrivena linija HA 267 koja je bila otporna na svim ispitivanim lokalitetima (Cvejić et al., 2014). Preliminarni rezultati istraživanja, koja se odnose na načina nasleđivanja ovih linija na otpornost prema rasama većim od F, ukazuju na recesivnu kontrolu jednog ili više gena. To znači da je neophodno uneti gene otpornosti u obe roditeljske linije u cilju dobijanja otpornih hibrida (Cvejić et al., 2014). Daljim testiranjem linija iz IFVC genbanke, utvrđena je otpornost dve restorer linije na rase volovoda koje prevazilaze rasu F. Utvrđeno je da je način nasleđivanja otpornosti na volovod rase veće od F, kod ove dve restorer linije, kontrolisana dominantnim genom ili genima (Jocić et al., 2016), tabela 2. Ovo otkriće olakšava unos otpornosti na volovod u hibrid s obzirom da nosilac gena može biti samo jedan roditelj.

**Tabela 2.** Otpornost genotipova suncokreta prema šest populacija volovoda testiranih u 2014. i 2015. godini  
**Table 2.** The resistance of sunflower genotypes to six populations of broomrape tested in 2014 and 2015

Populacija volovoda Broomrape population	Srbija Serbia	Španija Spain	Turska Turkey	Rumunija Romania		
Genotip Genotype	Poljski ogled Field trials	Test u laboratoriji Laboratory test	Sevilja Seville	Edirne Edirne	Konstanca Constanta	Tulča Tulcea
Diferencijalne linije Differential lines						
LC-1093 (Or6)	O	O	N	N	N	N
LC-1003 (Or5)	O	N	N	N	N	N
LC-1002 (Or4)	N	N	N	N	N	N
LC-231 (Or3)	N	N	N	N	N	N
Odabrane linije Selected lines						
RHA-ROM 25	O	O	O	O	O	O
RHA-BOS 38	O	O	O	O	O	O
Hibridi Hybrids						
Ha-26-PR x RHA-ROM	O	O	O	O	O	O
Ha-26-PR x RHA-BOS	O	O	O	O	O	O

O- otporno, N- neotporno

Stvaranje hibrida otpornih na nove rase volovoda, za uslove Srbije se komplikuju iz najmanje dva razloga. Prvi razlog je što je u proizvodnji suncokreta u Srbiji dugo godina prisutan patogen *Phomopsis helianthi* (prouzrokoivač mrkosive pegavosti stabla) na koji su novosadski hibridi suncokreta tolerantni. Svi hibridi i roditeljske linije koji se koriste kao izvori gena otpornosti na nove rase volovoda potiču uglavnom iz Rumunije, Španije i Turske, i pokazuju visok stepen osetljivosti na *Ph. helianthi*. Drugi razlog proizilazi iz činjenice da je volovod parazitska cvetnica koja je tipična za sušne regione. Genotipovi otporni na nove rase volovoda izabrani su, pre svega, za agro-ekološke uslove južne Španije, istočne Rumunije i Turske. Isti gajeni u našim uslovima, na osnovu dugogodišnjih rezultata, imaju izuzetno visoku osetljivost na belu trulež korena (*Sclerotinia sclerotiorum*). Često su linije donori gena otpornosti prema novim rasama volovoda loših agronomskih karakteristika. Sve ovo ukazuje da je prilikom unosa novih gena, neophodno da se održi tolerantnost prema *Ph. helianthi*, a i da se izbegne uvođenje podložnosti prema beloj truleži, čuvajući potencijal za prinos semena i visok sadržaj ulja. Dakle, glavni cilj oplemenjivanja suncokreta, nije otpornost na patogene, nego prinos ulja, odnosno njegovih najvažnijih komponenti, a to su prinos semena i sadržaj ulja (Miladinović et al., 2014).

### MOLEKULARNI MARKERI BLISKO VEZANI ZA *Or* GENE

Molekularna istraživanja za pronalaženje marker gena vezanih za otpornost prema volovodu započeta su ispitivanjem polimorfnosti SSR (Simple Sequence Repeat) markerima odabranih sa 17 linkidž grupa. Da bi se pronašla veza između marker gena i *Or* gena odabrani su polimorfni SSR markeri sa linkidž grupe 3 (LG3). Genetska analiza i mapiranje *Or* gena urađeno je analizom populacija nastalih iz ukrštanja otpornih i osetljivih linija na volovod.

Kako je otpornost prema volovodu uneta u gajeni suncokret iz različitih izvora, poreklo materijala je važan faktor kada je u pitanju način nasleđivanja i položaj gena otpornosti. Ove razlike su očigledne na molekularnom nivou i često je slučaj da je marker specifičan za materijal na kojem je razvijen (Imerovski et al., 2011, 2012). Iz tog razloga je rad na razvoju markera za detekciju otpornosti prema volovodu u IFVC pre svega usmeren na identifikaciju markera pogodnih za korišćenje kod NS genotipova suncokreta. U sklopu istraživanja ispitano je dvadeset genotipova suncokreta otpornih na različite rase volovoda (A-F). Kako bi se utvrdilo prisustvo *Or* gena korištena su četiri SSR markera koja su, prema rezultatima drugih autora, najbliže vezana za *Or* lokus. Utvrđeno je da pojedini markeri otkrivaju polimorfizam između genotipova, tako da su dalja istraživanja bila usmerena na ispitivanje mogućnost njihovog korišćenja za marker asistiranu selekciju (Imerovski, 2010). Odabrani SSR markeri sa linkidž grupe 3 (LG3) su dalje testirani da bi se utvrdila mogućnost njihovog korišćenja za identifikaciju određenog *Or* gena. Upotrebljenim markerima detektovan je polimorfizam između linija koje sadrže drugačije *Or* gene, a identifikovano je i nekoliko markera koji su blisko povezani sa *Or<sub>6</sub>*, *Or<sub>4</sub>*, odnosno *Or<sub>2</sub>* genom. Identifikovani markeri će se koristiti za uvođenje ovih gena otpornosti u NS linije suncokreta, kao i za identifikaciju diferencijalnih linija (Imerovski et al., 2013).

Pored rada na razvoju markera za *Or* gene, trenutna istraživanja su usmerena i na mapiranje novog gena koji je odgovoran za otpornost na rase volovoda veće od F. Upoređujući molekularni profil otpornog i neotpornog genotipa, uočen je polimorfizam na LG3. Shodno tome, može se pretpostaviti da se novi gen nalazi na ovoj linkidž grupi (Imerovski et al., 2013). Genska analiza i mapiranje gena otpornosti na rase veće od F ocenjena je koristeći F1 i F2:3 biljke dobijene ukrštanjem otporne linije AB-VL-8 i osetljive L-OS-1. Analiza markera pokazala je polimorfizam samo na linkidž grupi 3 (LG3), ukazujući da je otpornost kontrolisana jednim genom u ovoj regiji. Najbliži marker bio je ORS683 koji je bio udaljen 1,5 centimorgan od gena, označenog kao *Or*<sub>AB-VL-8</sub> (Imerovski et al., 2016). Otkriće ovog gena će omogućiti razvoj specifičnog molekularnog markera koji će ubrzati uvođenje otpornosti prema novim rasama volovoda u NS linije suncokreta.

### HEMIJSKO SUZBIJANJE VOLOVODA

Volovod se može suzbijati i hemijski. Razvoj hibrida suncokreta tolerantnih na imidazolinone (IMI) omogućilo je uspešno suzbijanje volovoda obzirom na rasni sastav (Alonso et al., 1998). Tolerantnost na herbicide iz grupe imidazolinona je otkrivena u populaciji divljeg *Helianthus annuus* L. (Ann-PUR) u Kansasu, SAD u polju soje (Al-Khatib et al., 1998). Nakon unošenja gena tolerantnosti u gajeni suncokret, dve populacije IMISUN-1 i IMISUN-2 su date na korišćenje od strane USDA-ARS istraživačke grupe. Ubrzo nakon otkrića, stvoreni su prvi IMI tolerantni hibridi (Jocić i sar., 2004), a tehnologija se komercijalizovala pod imenom Clearfield (Malidža i sar., 2004). Nasleđivanje tolerantnosti na imidazolinone je parcijalno dominantno kontrolisano jednim genom *Imr1* (takođe poznat kao *Ahas1-1*) i gena modifikatora *Imr2* koji poboljšava efekat (Bruniard and Miler, 2001; Jocić i sar., 2001). Drugi tip hibrida tolerantnih na herbicide iz grupe imidazolinona su poznati kao hibridi Clearfield Plus (CLPlus) tehnologije. Novi gen tolerantnosti (CLPlus gen ili *Ahas1-3*) je stvoren indukovanim mutacijama i odabran na osnovu tolerantnosti na herbicide kod kojih je aktivna materija imazapir (Sala et al., 2008). Clearfield Plus tehnologija se takođe veoma uspešno primenjuje u suzbijanju volovoda bez obzira na prisutnu rasu.

### ZAKLJUČAK

Volovod je značajan ograničavajući faktor u proizvodnji suncokreta. Rezultati ukazuju da je nekoliko inbred linija odabrano kao potencijalno otporne ili visoko tolerantne na virulentne rase volovoda prisutne na ispitivanim lokalitetima. Ove inbred linije potiču iz različitih izvora i predstavljaju dragocen rezervoar gena za otpornost prema novim virulentnim rasama volovoda. Marker asistirana selekcija se pokazala kao korisno sredstvo u oplemenjivanju suncokreta za identifikaciju gena otpornosti na volovod, kao i za ubrzavanje i olakšavanje unošenja otpornosti prema ovoj parazitskoj cvetnici u programima oplemenjivanja suncokreta.

## ZAHVALNICA

Ovaj rad je deo projekta TR 31025 Ministarstva za obrazovanje, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije i COST projekta FA1206: Strigolactones: biological roles and applications.

## LITERATURA

- Akhtouch, B., Munoz-Ruz, J., Melero-Vara, J., Fernandez-Martinez, J., Dominguez, J.:** Inheritance of resistance to race F of broomrape in sunflower lines of different origins. *Plant Breeding*, 121, 266-268, 2002.
- Al-Khatib, K., Baumgartner, J. R., Peterson, De., Currie R. S.:** Imazethapyr resistance in common sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Weed Science*, 46, 403-407, 1998.
- Alonso, L.C., Rodriguez-Ojeda, M. I., Fernandez-Escobar, J., Lopez-Ruiz-Calero, G.:** Chemical control of broomrape in sunflower resistant to imazethapyr herbicide. *Helia*, 29, 45-54, 1998.
- Bruniard, J.M., Miller J.F.:** Inheritance of imidazolinone herbicide resistance in sunflower. *Helia*, 24, 11-16, 2001.
- Cvejić, S., Dedić, B., Jocić, S., Miladinović, D., Miklič, V.:** Broomrape resistance in newly developed sunflower inbred lines. Proceedings of 18<sup>th</sup> International Sunflower Conference, Mar del Plata, Argentina, 1037-1042, 2012.
- Cvejić, S., Jocić, S., Dedić, B., Radeka, I., Imerovski, I., Miladinović, D.:** Determination of resistance to broomrape in newly developed sunflower inbred lines. Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Symposium on Broomrape (*Orobanche* spp.) in Sunflower, Córdoba, Spain, 184-188, 2014.
- Dedić, B., Terzić, S., Tančić, S., Atlagić, J., Mrđa, J., Miklič, V.:** Evaluation of some annual wild sunflower species for resistance to broomrape. Proceedings of International symposium on sunflower genetic resources, Kusadasi, Izmir, Turkey, 40, 2011.
- Fernandez-Martinez, J., Perez-Vich, B., Akhtouch, B., Velasco, L., Munoz-Ruz, J., Malero-Vara, J., Dominguez, J.:** Registration of four sunflower germplasms resistant to race F of broomrape. *Crop Science*, 44, 1033-1034, 2004.
- Fernandez-Martinez, J. M., Velasco, L., Perez-Vich, B.:** Update on breeding for resistance to sunflower broomrape. *Helia*, 31 (48), 73-84, 2008.
- Fernandez-Martinez, J. M., Velasco, L., Perez-Vich, B.:** Progress in research on breeding for resistance to sunflower broomrape. *Helia*, 35 (57), 47-56, 2012.
- Imerovski, I.:** Primena mikrosatelita u detekciji otpornosti suncokreta prema volovodu. Master rad, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, 2010.
- Imerovski, I., Dimitrijević, A., Miladinović, D., Dedić, B., Jocić, S., Miklič, V.:** Molecular profiles of sunflower lines resistant to broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.). Proceedings of the International Symposium on Broomrape (*Orobanche* spp.) in Sunflower, Chisinau, Moldova, 25, 2011.
- Imerovski, I., Dimitrijević, A., Miladinović, D., Dedić, B., Jocić, S., Miklič, V.:** Towards Orobanche resistance in sunflower - SSR analysis of novel resistance source. Proceedings of 18<sup>th</sup> International Sunflower Conference, Mar del Plata, Argentina, 1043-1047, 2012.
- Imerovski, I., Dimitrijević, A., Miladinović, D., Dedić, B., Jocić, S., Kovacević, B., Obreht, D.:** Identification of PCR markers linked to different *Or* genes in sunflower. *Plant Breeding*, 132, 115-120, 2013.
- Imerovski, I., Dimitrijević, A., Miladinović, D., Dedić, B., Jocić, S., Kočič Tubić, N., Cvejić, S.:** Mapping of a new gene for resistance to broomrape races higher than F. *Euphytica*, 209, 281-209, 2016.
- Jocić, S., Škorić, D., Malidža, G.:** Oplemenjivanje suncokreta na otpornost prema herbicidima. Zbornik radova Naučnog instituta za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, 35, 223-235, 2001.
- Jocić, S., Malidža, G., Škorić D.:** Suncokret tolerantan na herbicide iz grupe imidazolinona. *Journal of Scientific Agricultural Research*, 65 (1), 81-89, 2004.



- Jocić, S., Cvejić, S., Jocković, M., Hladni, N., Dedić, B., Imerovski, I., Miladinović, D., Miklič, V.:** Screening for resistance to highly virulent races of sunflower broomrape (*Orobanche cumana*). Proceedings of 19<sup>th</sup> International Sunflower Conference, Edirne, Turkey, 534, 2016.
- Kaya, Y.:** Current situation of sunflower broomrape around the world. Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Symposium on Broomrape (*Orobanche* spp.) in Sunflower, Cordoba, Spain, 9-18, 2014.
- Kaya, Y., Evcı, G., Durak, S., Pekcan, V., Gucer, T.:** Yield components affecting seed yield and their relationships in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Pakistan Journal of Botany, 41 (5), 2261-2269, 2009.
- Malidža, G., Jocić, S., Škorić, D., Orbović, B.:** Clearfield sistem proizvodnje suncokreta. Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, 40, 279-290, 2004.
- Miladinović, D., Cantamutto, M., Vasin, J., Dedić, B., Alvarez, D., Poverene, M.:** Exploring the environmental determinants of the geographic distribution of broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.). Helia, 35 (56), 79-88, 2012.
- Miladinović, D., Jocić, S., Dedić, B., Cvejić, S., Dimitrijević, A., Imerovski, I., Malidža, G.:** Current situation of sunflower broomrape in Serbia. Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Symposium on Broomrape (*Orobanche* spp.) in Sunflower, Cordoba, Spain, 33-38, 2014.
- Păcureanu-Joița, M., Fernandez-Martinez, J., Sava, E., Raranciuc, S.:** Broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) the most important parasite in sunflower. An INCDA Fundulea, 77, 49-56, 2009.
- Păcureanu-Joița, M., Vranceanu, A. V., Seare, G., Marinescu, A., Sandu, I.:** The evaluation of the parasite-host interaction in the system *Helianthus annuus* L. – *Orobanche cumana* Wallr. in Romania. Proceedings of 2<sup>nd</sup> Balkan Symposium on Field Crops, Novi Sad, Yugoslavia, 153-158, 1998.
- Perez-Vich, B., Akhtouch, B., Munoz-Ruz, J., Fernandez-Martinez, J., Jan, C. C.:** Inheritance of resistance to a highly virulent race F of *Orobanche cumana* Wallr. in a sunflower line derived from interspecific amphiploids. Helia, 25, 137-144, 2002.
- Sala, C. A., Bulos, M., Echarte, A. M.:** Genetic analysis of an induced mutation conferring imidazolinone resistance in sunflower. Crop Science, 48, 1817-1822, 2008.
- Terzić, S., Dedić, B., Atlagić, J., Jocić, S., Miladinović, S., Jocković, M.:** Testing annual wild sunflower species for resistance to *Orobanche cumana* Wallr. Proceedings of 19<sup>th</sup> International Sunflower Conference, Edirne, Turkey, 307, 2016.
- Sukno, S., Melero-Vara, J. M., Fernández-Martínez, J. M.:** Inheritance of resistance to *Orobanche cernua* Loefl. in six sunflower lines. Crop Science, 39, 674-678, 1999.
- Škorić, D.:** Sunflower breeding. Journal of Edible Oil Industry. Uljarstvo, 25 (1), 1-99, 1988.
- Škorić, D., Pacureanu-Joila, M., Sava, E.:** Sunflower breeding for resistance to broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.). An INCDA Fundulea, 78 (1), 63-79, 2010.
- Škorić, D., Jocić, S., Jovanović, D., Hladni, N., Marinković, R., Atlagić, J., Panković, D., Vasić, D., Miladinović, F., Gvozdrenović, S., Terzić, S., Sakač, Z.:** Dostignuća u oplemenjivanju suncokreta. Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, 42 (1), 131-171, 2006.
- Terzić, S., Dedić, B., Atlagić, J., Jocić, S., Tančić, S.:** Screening wild sunflower species and F1 interspecific hybrids for resistance to broomrape. Helia, 33, 25-30, 2010.
- Velasco, L., Perez-Vich, B., Jan, C. C., Fernandez-Martinez, J. M.:** Inheritance of resistance to broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) race F in a sunflower line derived from wild sunflower species. Plant Breeding, 126, 67-71, 2007.
- Velasco, L., Perez-Vich, B., Yassein, A. A. M., Jan, C. C., Fernandez-Martinez, J. M.:** Inheritance of resistance to sunflower broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) in an interspecific cross between *Helianthus annuus* and *Helianthus debilis* subsp. *tardiflorus*. Plant Breeding, 131, 220-221, 2012.
- Vranceanu, A. V., Tudor, V. A., Stoienescu, F. M., Pirvu, N.:** Virulence groups of *Orobanche cumana* Wallr. differential hosts and resistance sources and genes in sunflower. Proceedings of 9<sup>th</sup> International Sunflower Conference, Torremolinos, Spain. Int Sunfl Assoc Paris, France, 74-80, 1980.

## Achievements in sunflower breeding for resistance to broomrape

### SUMMARY

Parasitic plant broomrape (*Orobancha cumana* Wallr.) is a major problem in sunflower (*Helianthus annuus* L.) production. Yield losses can be up to 100% when susceptible genotypes are grown. Eight known races of broomrape in sunflower have been identified and designated by letters from A to H. Five races have been identified (A, B, C, D and E) in the past, while more virulent races have recently appeared in the countries around the Black Sea and Spain. The race E has been predominant in Serbia for many years, although in some places a new race has appeared. Broomrape can be confined using chemical control, but growing resistant genotypes appears to be the most efficient and reliable way of control. The sources of resistance have mainly been found in the wild species of the genus *Helianthus*. Sunflower resistance to broomrape is controlled by *Or* genes. The system of resistance control depends on the race of broomrape and sources of resistance material. Over the last five decades, significant results have been achieved in sunflower breeding for the resistance to broomrape. Five dominant genes ( $Or_1$ - $Or_5$ ), which provide resistance to five races of broomrape (A-E), have been identified, establishing a set of five differential lines. The set was later supplemented with lines resistant to race F.

Intensive work has been done at the Institute of Field and Vegetable Crops (IFVC) on: (1) finding the source of resistance towards races which overcome races E and F, in the wild species and cultivated sunflower, (2) determining the gene effects and mode of inheritance of this trait; as well as (3) research on the molecular level, focused on finding markers closely linked to *Or* genes. Genotypes were tested in naturally infested fields in Serbia, where race E is fully dominant; Spain, where race F is predominant; and in Romania and Turkey, where very virulent races (over race F) of broomrape are present. The results have indicated that several genotypes were selected as potentially resistant or highly tolerant to virulent races of broomrape present in these locations. Intensive research on the molecular level was focused on the development of specific DNA markers, in order to facilitate and accelerate the introduction of resistance into cultivated sunflower. By comparing the molecular profile of resistant and susceptible genotype, a polymorphism was observed on LG3 of the SSR map. The identification of closely related molecular markers will facilitate the introgression of the gene into different sunflower lines. Another way to control broomrape is the cultivation of sunflower hybrids tolerant to imidazolinone herbicides. This measure solves the problem of broomrape regardless of its racial composition.

**Key words:** sunflower, broomrape, resistance, race, *Or* genes.