

UTICAJ REŽIMA NAVODNJAVANJA NA PRINOS I KOMPONENTE PRINOSA SOJE

**Branka J. Kresović¹, Boško A. Gajić^{2*}, Angelina Đ. Tapanarova²,
Borivoj S. Pejić³, Snežana D. Dragović⁴ i Ranko M. Dragović⁵**

¹Institut za kukuruz „Zemun Polje”, Slobodana Bajića 1, 11185 Zemun Polje, Srbija

²Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet,
Nemanjina 6, 11080 Beograd-Zemun, Srbija

³Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet,
Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Srbija

⁴Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke Vinča,
PF 522, 11001 Beograd, Srbija

⁵Univerzitet u Nišu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za geografiju,
Višegradska 33, 18000 Niš, Srbija

Rezime: U ovom radu ispituje se uticaj različitih režima navodnjavanja orošavanjem na prinos i komponente prinosa semena soje [*Glycine max* (L.) Merr.] u poljskim uslovima u 2006, 2007. i 2008. godini u Zemun Polju (Srem, Srbija). Svake godine istraživana su po tri režima navodnjavanja, i to sa 80–85% (T_1), 70–75% (T_2), 60–65% (T_3) poljskog vodnog kapaciteta i prirodni vodni režim bez navodnjavanja (T_0). Ogled je izveden po metodi slučajnog blok sistema u četiri ponavljanja na karbonatnom černozeu. Deficit vode u toku vegetacionog perioda u nenavodnjavanom tretmanu (T_0) smanjio je fiziološku aktivnost biljaka, vegetativni rast i produktivnost soje. Navodnjavani tretmani su vrlo značajno ($P < 0,01$) uticali na prinos zrna soje i komponente prinosa. Na tretmanu T_2 postignut je veći prinos semena nego na tretmanima T_1 i T_3 . Iako je tretman T_2 dobio oko 37% manje vode za navodnjavanje u poređenju sa T_1 , prinos soje povećan je u proseku za 11%. Navodnjavani režimi imali su statistički značajno različite uticaje na komponente prinosa kao što su visina biljaka u vreme žetve, broj mahuna i zrna po biljci, masa mahuna po biljci, masa zrna po biljci, masa 1.000 zrna i zapreminska masa zrna. Smanjenje prinosa je uglavnom posledica manjeg broja mahuna i zrna po biljci i manje mase 1.000 zrna. Tretman T_1 imao je najveću visinu biljaka u sve tri godine ispitivanja. Rezultati su pokazali da je tretman T_3 prihvatljiva strategija navodnjavanja za stabilizaciju i povećanje prinosa soje u Sremu i susednim zemljama regiona u uslovima ograničenih vodnih resursa, pod uslovom da ova praksa nije sprečena ekonomskim ograničenjima.

Ključne reči: vodni stres, navodnjavanje orošavanjem, visina biljke, broj mahuna po biljci, broj zrna po biljci, masa 1.000 zrna.

* Autor za kontakt: e-mail: bonna@agrif.bg.ac.rs

Uvod

Soja [*Glycine max* (L.) Merr.] se u Vojvodini gaji na oko 0,15 Mha (oko 10% oraničnih površina) uglavnom u uslovima prirodnog vodnog režima vlaženja. U takvim uslovima višegodišnji prinosi zrna soje na području Vojvodine variraju od 1,7 do 2,7 t ha⁻¹ (SGS, 2014) i najviše zavise od rasporeda i količine padavina u vegetacionom periodu. Stabilni i visoki prinosi soje u promenljivim klimatskim uslovima Vojvodine, u kojima su leta polusušna do poluvlažna, mogu se postići samo navodnjavanjem (Bošnjak, 2001). U prirodnom režimu vlaženja varijabilnost padavina u vegetacionom periodu iz godine u godinu dovodi i do varijabilnosti u usvajanju vode i hranjivih materija, kao i rasta, razvića i prinosa useva (Scott et al., 1986). Nedostatak vode u zemljištu (vodni stres) je glavni faktor koji ograničava proizvodnju soje u polusušnim i poluvlažnim krajevima sveta (Sincik et al., 2008).

Ako je snabdevanje vodom ograničeno, količina apsorbovane vode iz zemljišta od strane biljaka je manja od evapotranspiracije (ET), a kada se vlažnost smanji ispod kritičnog sadržaja vode u zemljištu, usevi su izloženi vodnom stresu (Rosadi et al., 2005). Vodni stres utiče na komponente prinosa različito, u zavisnosti od toga kada se dogodi. Tako na primer, ako se stres javi početkom cvetanja, smanjuje se broj mahuna po biljci, a ako do njega dođe tokom cvetanja, broj mahuna po biljci i veličina semena mogu se smanjiti (Sincik et al., 2008). Oya et al. (2004) navode da se veličina semena smanjuje kada do stresa dođe tokom kasnog cvetanja i razvoja mahuna. Kao rezultat toga, prinos semena soje i njegove komponente znatno se smanjuju kada je snabdevanje biljaka vodom ograničeno. Vodni stres za vreme reproduktivnog razvoja smanjuje fiziološku aktivnost, vegetativni rast i produktivnost biljaka i ima vidljiv uticaj na morfološki izgled biljaka soje (Atti et al., 2004). Za razliku od prethodnih istraživača, Sutherland i Danielson (1980) su utvrdili da se prinos soje povećava ako se posle vodnog stresa za vreme cvetanja primeni puno navodnjavanje, tj. neumanjena norma zalivanja. Međutim, iz godine u godinu rezerve raspoložive vode za navodnjavanje se u svetu i kod nas smanjuju, a potrebe za hranom povećavaju, što ukazuje da će se proizvodnja hrane u godinama koje slede obavljati u uslovima manjeg ili većeg deficita vode. Zbog toga je neophodno racionalnije gazdovanje vodnim resursima i hranom (Feres et al., 2003).

Danas u praksi postoji nekoliko predloga za racionalnije korišćenje vode u gajenju useva. Jedan od njih je da se voda navodnjavanjem primjenjuje kada je usevima najpotrebnija, tj. kada nedostatak vode može dovesti do značajnog smanjenja prinosa. Ovaj pristup se naziva redukovano (engl. *regulated*), prethodno planirano (engl. *pre-planned*) ili deficitarno navodnjavanje (engl. *deficit irrigation*) (English et al., 1990). Međutim, Barrett i Skogerboe (1978) ukazuju na to da je ukupna količina vode dostupna usevu u vegetacionom periodu važnija od vremena primene vode navodnjavanjem. U praksi se kao donja granica optimalne vlažnosti

zemljišta ili tehnički minimum kada treba početi navodnjavanje uzima raspon vlage od 60 do 100% poljskog vodnog kapaciteta (PVK). Prema Bošnjaku (1983), u pedo-klimatskim uslovima Vojvodine, tehnički minimum vlage u zemljištu za soju je 60–65% od PVK-a, odnosno navodnjavanje treba obaviti kada se potroši oko dve trećine biljkama raspoložive vode u površinskom sloju zemljišta do 0,60 m dubine. Ako raspored navodnjavanja nije usklađen sa zahtevima useva i fizičkim osobinama zemljišta, efekat navodnjavanja na prinos soje može izostati ili biti zanemarljiv (Maksimović i sar., 2005).

Da bi se usvojio određeni režim navodnjavanja, potrebne su informacije o reakcijama useva na manjak vode u različitim fenofazama njihovog razvića ili tokom celog vegetacionog perioda. Smanjenje prinosa varira od jednog mesta do drugog gde se primenjuje određeni režim navodnjavanja. Ekološki i zemljišni faktori utiču na isparavanje vode iz zemljišta (evaporaciju) i njenu dostupnost gajenim biljkama. Stoga, postoji potreba da se izvrši sveobuhvatna ocena uticaja određenog režima navodnjavanja na prinos useva pre nego što se on uvede u širu primenu tj. biljnu proizvodnju u određenim agroekološkim uslovima. Ova ocena se može koristiti u preporuci poljoprivrednicima i drugim zainteresovanim korisnicima vode u vezi sa prednostima koje proizilaze iz takve strategije navodnjavanja.

Cilj ovog istraživanja bio je da se uporede efekti tri navodnjavana tretmana orošavanjem sa različitim normama zalivanja, u odnosu na kontrolu (bez navodnjavanja), na rast, komponente prinosa i prinos soje gajene na praškasto glinastom zemljištu u agroekološkim uslovima Srema. Pored toga, istraživanja su imala za cilj da utvrde i odnos između prinosa useva i količine dospele vode u zemljište od padavina i navodnjavanjem.

Materijal i metode

Trogodišnji (2006–2008) poljski ogled, po metodi blok sistema u četiri ponavljanja, izveden je na oglednom polju Instituta za kukuruz „Zemun Polje” u Zemun Polju (44°52' N; 20°20' E; 81 mnv). Ogled je izveden na karbonatnom, praškasto glinastom černoze mu obrazovanom na karbonatnom lesu, povoljnih fizičkih i hemijskih osobina. Zemljište je u A_n horizontu (0–40 cm) bilo dobro obezbeđeno azotom (0,217% N), lakopristupačnim fosforom (34 mg P₂O₅ na 100 g zemljišta) i kalijumom (22 mg K₂O na 100 g zemljišta). Hemijska reakcija zemljišnog rastvora (pH u H₂O) bila je 7,8; a sadržaj organskih materija na početku eksperimentalnih istraživanja bio je 2,5%. Gustina suvog zemljišta bila je 1270 kg m⁻³. Kapacitet biljkama pristupačne voda na eksperimentalnom polju bio je 173 mm m⁻¹. U radu Tapanarova (2011) dato je više informacija o fizičkim, vodno-vazдушnim i hemijskim osobinama zemljišta na kojem su obavljena ova istraživanja.

Sve tri godine za setvu je korišćena srednje kasna (II grupa zrenja) sorta soje „Nena”, koja je selekcionisana u Institutu za kukuruz „Zemun Polje”. Setva je obavljena sejalicama na razmaku 50 x 4,5 cm, što teoretski čini 445.000 biljaka po hektaru. Površina elementarnih parcela bila je 57,12 m². Da bi se minimizirao uticaj bočnog proceđivanja vode između elementarnih parcela, ostavljen je razmak od 2 m. Ukupna količina primenjenih mineralnih đubriva bila je na svim varijantama ogleda podjednaka. Pre setve u zemljište je (u jesen) zaoravano po 450 kg ha⁻¹ NPK mineralnog đubriva (15:15:15) i predsetveno 150 kg ha⁻¹ uree. U borbi protiv korova, bolesti i štetočina korišćene su standardne agrotehničke mere na ovom području. U toku vegetacionog perioda vršena su uobičajena fenološka posmatranja rasta i razvića useva, kao što su: klijanje, razvoj lista, formiranje sekundarnih stabala, rast stabla, početak cvetanja, cvetanje, razvoj ploda, sazrevanje, starenje. Neki najvažniji detalji trogodišnjih eksperimenata prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Eksperimentalni podaci u toku trogodišnjeg eksperimenta.
Table 1. Experimental details during the 3-year experiment.

Agronomski radovi <i>Agronomic practices</i>	2006.	2007.	2008.
Datum setve <i>Sowing date</i>	28. april	19. april	06. maj
Gustina biljaka po m ² <i>Plant population (per m⁻²)</i>	44,5	44,5	44,5
Datum žetve <i>Harvest date</i>	19. oktobar	18. oktobar	15. oktobar
Dužina vegetacione sezone (dana) <i>Length of growing season (days)</i>	174	182	162
Broj zalivanja po tretmanu (T ₁ , T ₂ i T ₃) <i>Irrigation supplies (T₁, T₂ and T₃)</i>	2–1–0	3–2–2	4–3–2
Količina vode dodate navodnjavanjem (mm) <i>Amount of seasonal irrigation supply (mm)</i>			
T ₀	0	0	0
T ₁	60	135	235
T ₂	30	80	160
T ₃	0	50	95

Za navodnjavanje su korišćena prenosna kišna krila sa rasprskivačima (model RINKA) postavljenim po kvadratnoj šemi 12 x 12 m. U eksperimentima su proučavana četiri vodna režima, i to: prirodni vodni režim bez navodnjavanja (T₀) koji je služio kao kontrolna varijanta, i tri irigaciona režima sa različitim normama zalivanja koje su iznosile 80–85% (T₁), 70–75% (T₂) i 60–65% (T₃) PVK u rizosfernom horizontu do dubine 0,60 m. Navodnjavanje na tretmanima nije primenjivano sve dok vlažnost zemljišta u zemljišnom profilu do 0,60 m dubine nije dosegla navedeni nivo PVK-a. Početak navodnjavanja određen je merenjem

vlažnosti zemljišta na svakoj elementarnoj parceli u zemljišnom sloju do 100 cm dubine, po slojevima od po 10 cm (0–10, 10–20, ..., 90–100 cm), na početku vegetacije, periodično za vreme vegetacije (u intervalima 7–10 dana u zavisnosti od pojave kiša) i na kraju vegetacije, korišćenjem gravimetrijske metode. Na početku svake vegetacione sezone određivana je i gustina suvog zemljišta radi prevođenja masenih procenata zemljišne vlažnosti u zapreminske procenante.

Na kraju vegetacionog perioda iz svake parcele uzeto je po 10 biljaka za merenje njihove visine, određivanje broja mahuna i zrna po biljci, mase mahuna po biljci i mase zrna po biljci. Prinos zrna po tretmanima određen je ručnom žetvom biljaka soje sa svake elementarne parcele površine 5,00 m², tj. žetvom dva središnja reda u dužini od po 5 m. Prinos zrna i masa 1.000 zrna soje obračunati su na 13% vlage. Zapreminska (hektolitarska) masa zrna soje određena je Šoperovom vagom („Louis Schopper, Leipzig”, Germany).

Podaci o prinosu i komponentama prinosa soje obrađeni su varijaciono-statistički, analizom varijanse (ANOVA) za jednofaktorijski ogled za svaku godinu pojedinačno i zbirno za sve tri godine eksperimentalnog istraživanja. Razlike između pojedinačnih tretmana analizirani su LSD testom na nivou značajnosti 95% i 99%. Na osnovu trogodišnjih rezultata prinosa ostvarenih po varijantama proučavanja, metodom regresione analize izvršena je projekcija prinosa zrna soje u zavisnosti od ukupne količine dospele vode (padavine plus voda dodata navodnjavanjem) na površinu zemljišta tokom vegetacionog perioda i određena je njihova korelaciona zavisnost.

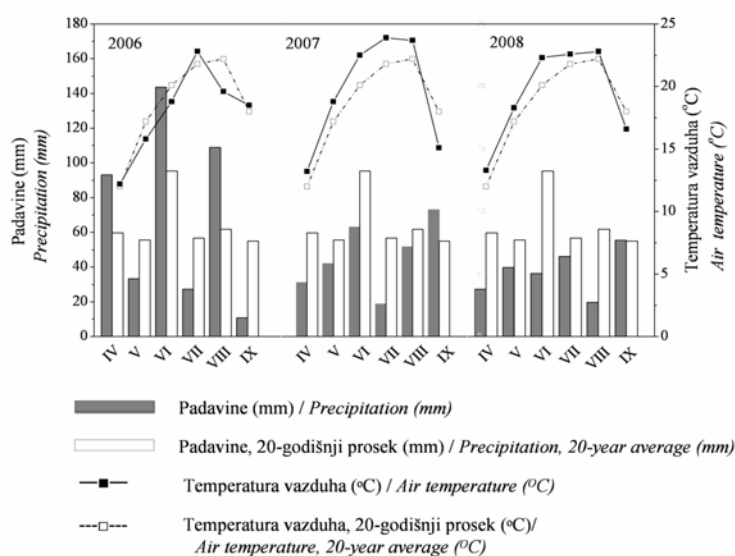
Meteorološki uslovi i norme navodnjavanja

Na grafikonu 1 prikazane su ukupne sume mesečnih padavina i prosečne temperature vazduha tokom vegetacionog perioda soje, od IV do IX meseca, kao i njihovi višegodišnji proseci (1981–2002. godine). Višegodišnji podaci o padavinama pokazuju da je područje Srema deficitarno vlagom tokom vegetacije, a naročito u kritičnom VI, VII i VIII mesecu (juni, julu i avgustu). U našim agroklimatskim uslovima period između juna i avgusta podudara se sa fenofazama cvetanja, obrazovanja mahuna i nalivanja zrna, kada soja ima velike zahteve za vodom (Asley, 1983). Međutim, u ispitivanim godinama količine padavina u vegetacionom periodu znatno se razlikuju od ranijih višegodišnjih (384 mm), što upućuje na zaključak da su meteorološki uslovi za proizvodnju soje u ovim godinama bili vrlo različiti. Najviše padavina tokom vegetacionog perioda bilo je u prvoj (2006) eksperimentalnoj godini, 417 mm, što je za oko 9% više od višegodišnjeg proseka. Samo u VI i VIII mesecu palo je 253 mm, što znači da je u ovim delovima vegetacionog perioda padavina bilo čak i iznad optimuma.

U vegetacionom periodu 2007. godine palo je 279 mm kiše, što je za skoro 33% manje nego u prethodnoj godini, odnosno za oko 27% manje od višegodišnjeg

proseka u periodu od 1981. do 2002. godine. Najmanja količina kiše, oko 19 mm, pala je u VII mesecu, a najveća količina, 73 mm, u IX mesecu, što je rezultiralo znatnim smanjenjem prinosa semena soje u nenavodnjavanom tretmanu.

Sa svega 225 mm padavina u toku vegetacionog perioda, 2008. godina bi se mogla oceniti kao izrazito sušna, jer je suma padavina u vegetacionom periodu za 41% manja od prosečne višegodišnje sume. Suma vegetacionih padavina u 2008. godini bila je za 19% manja nego u 2007. godini. Zbog veoma male količine padavina u vegetacionom periodu, odnosno jakog vodnog stresa, u 2008. godini ostvaren je najmanji prinos soje u nenavodnjavanom tretmanu u poređenju sa prethodne dve eksperimentalne godine.



Grafikon 1. Prosečne mesečne količine padavina i temperature vazduha na eksperimentalnom polju tokom tri eksperimentalne godine u odnosu na višegodišnje proseke (1981–2002).

Figure 1. Mean monthly precipitation and air temperature at the experimental site during the three experimental years compared to multi-year averages (1981–2002).

Prosečne temperature u vegetacionom periodu 2006. godine bile su slične višegodišnjim, osim u VIII mesecu. U 2007. i 2008. godini prosečne temperature, izuzev u IV mesecu, bile su veće od prosečnih mesečnih višegodišnjih temperatura. Za vreme trogodišnjih istraživanja, toplotni uslovi su uglavnom bili pogodni za gajenje soje, s dnevnim temperaturama u intervalu od 12 do 25°C. Nešto niže temperature od prosečnih višegodišnjih bile su u VI i VIII mesecu 2006. godine.

U zavisnosti od tretmana i količine padavina u toku vegetacionog perioda soje norma navodnjavanja varirala je od 0 mm (T₃, 2006. godine) do 235 mm (T₁, 2008. godine) (tabela 1). Zapravo, trogodišnja prosečna količina primenjene vode za navodnjavanje po tretmanima T₀, T₁, T₂ i T₃ bila je 0, 143, 90, odnosno 48 mm. U poređenju sa 2006. i 2007. godinom, u 2008. godini norme zalivanja bile su veće zbog suvljih i toplijih vremenskih uslova.

Rezultati i diskusija

Uticaj vodnog režima na visinu biljaka

Vodni režim je značajno uticao na visinu biljaka u ispitivanim godinama (tabela 2). Tretmani T₁, T₂ i T₃ imali su veće visine biljaka u poređenju sa nenavodnjavanom varijantom u sve tri vegetacione sezone. Kao što se i očekivalo, najveća prosečna vrednost visine biljaka soje (135 cm) bila je u tretmanu T₁. U odnosu na 2006. i 2007. godinu, u 2008. godini biljke su u tretmanu T₀ bile niže zbog manje količine padavina u vegetacionom periodu. U ovim istraživanjima utvrđena je i statistički vrlo značajna ($P < 0,01$) interakcija između godine i tretmana na masu semena. Bennouna et al. (2004) su utvrdili da nedostatak vode u zemljištu smanjuje dužinu nekih internodija, a time i visinu biljke. Kadhem et al. (1985), Sincek et al. (2008) i Adeboye et al. (2015) takođe navode da su visine biljaka soje bile znatno veće u navodnjavanim tretmanima nego u tretmanu bez navodnjavanja.

Tabela 2. Visina biljaka soje (cm).

Table 2. Height of soya bean plants (cm).

Godina <i>Year</i>	Varijante/ <i>Treatments</i>				Prosek <i>Average</i>
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₀	
2006.	135	125	100	100	115
2007.	140	135	130	90	124
2008.	130	125	120	85	115
Prosek <i>Average</i>	135	128	117	92	118
Analiza varijanse/ <i>Analysis of variance</i>					
Izvor varijacije/ <i>Source of variance</i> (C _v – 1,81)	F value	Prob.	LSD		
			0,05	0,01	
Godina/ <i>Year</i> (Y)	99,3243	0,0000**	1,622	2,330	
Varijante/ <i>Treatments</i> (T)	957,9268	0,0000**	1,788	2,414	
Y x T	72,5610	0,0000**	3,097	4,182	

Uticaj vodnog režima na broj mahuna po biljci

U sve tri vegetacione sezone svi navodnjavani tretmani imali su veći broj mahuna po biljci u poređenju sa nenavodnjavanom varijantom (tabela 3), što se značajno odrazilo na broj zrna po biljci kao i na masu zrna po biljci i ukupan prinos semena po jedinici žetvene površine. Najveći broj mahuna (113,1) imao je tretman T₂, a najmanji (73,0) nenavodnjavani tretman (T₀). Tretmani T₁ i T₃ imali su u proseku za 4,6–18,2% manji broj mahuna po biljci u poređenju sa tretmanom T₂. Analiza varijanse je pokazala da je interakcija godina x varijanta statistički vrlo značajna. U eksperimentu sličnom našem, Sincek et al. (2008) su proučavajući uticaj redukovano navodnjavanja na prinos semena soje i njegove komponente u subhumidnim klimatskim uslovima Turske (Bursa) utvrdili najveći broj mahuna po biljci u varijanti punog navodnjavanja, dok je u uslovima redukovano navodnjavanja broj mahuna bio manji za 3,2–21,5%, a u nenavodnjavanoj varijanti za čak 42,9% u poređenju sa varijantom punog navodnjavanja.

Tabela 3. Broj mahuna po biljci.
Table 3. Number of pods per plant.

Godina <i>Year</i>	Varijante/ <i>Treatments</i>				Prosek <i>Average</i>
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₀	
2006.	113,3	118,5	89,3	87,0	102,0
2007.	104,0	112,0	92,0	75,0	95,8
2008.	106,8	109,0	96,5	57,0	92,3
Prosek <i>Average</i>	108,0	113,2	92,6	73,0	96,5
Analiza varijanse/ <i>Analysis of variance</i>					
Izvor varijacije/ <i>Source of variance</i> (C _v – 1,81)	F value	Prob.	LSD		
			0,05	0,01	
Godina/ <i>Year</i> (Y)	69,7500	0,0000**	1,762	2,391	
Varijante/ <i>Treatments</i> (T)	970,3333	0,0000**	1,816	2,504	
Y x T	73,6212	0,0000**	3,517	4,232	

Uticaj vodnog režima na broj zrna po biljci

Broj zrna po biljci soje uslovljen je brojem mahuna po biljci kao i brojem zrna po mahuni, a najviše zavisi od dovoljne obezbeđenosti biljaka vodom za vreme cvetanja, zametanja semena i nalivanja semena (Sionit i Kramer, 1977). Broj zrna po biljci soje značajno je varirao kako po godinama tokom eksperimentalnog istraživanja, tako i po proučavanim varijantama vodnog režima

(tabela 4). U najsušnijoj 2008. godini utvrđen je najmanji broj zrna po biljci u svim proučavanim varijantama, a najveći u najvlažnijoj 2006. godini. Najveći prosečan broj zrna po biljci bio je u tretmanu T₂ (210,7), a najmanji (135,3) u tretmanu T₀. U poređenju sa tretmanima T₁ i T₃, tretman T₂ imao je u proseku za 7,9% odnosno 21,3% veći broj zrna po biljci. Rezultati ovih istraživanja su u saglasnosti sa rezultatima do kojih su došli Sincek et al. (2008). Navedeni autori su utvrdili da se sa smanjenjem norme navodnjavanja značajno smanjuje broj zrna po biljci soje.

Tabela 4. Broj zrna po biljci.

Table 4. Number of seeds per plant.

Godina <i>Year</i>	Varijante/ <i>Treatments</i>				Prosek <i>Average</i>
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₀	
2006.	213	224	181	179	199,2
2007.	195	219	174	138	181,5
2008.	178	189	166	89	155,5
Prosek <i>Average</i>	195,3	210,7	173,7	135,3	178,7
Analiza varijanse/ <i>Analysis of variance</i>					
Izvor varijacije/ <i>Source of variance</i> (C _v – 14,67)	F value	Prob.	LSD		
			0,05	0,01	
Godina/ <i>Year</i> (Y)	8,5733	0,0000**	0,146	0,251	
Varijante/ <i>Treatments</i> (T)	4,6589	0,03635*	0,126	0,185	
Y x T	7,2931	0,0000**	0,267	0,324	

Uticaj vodnog režima na masu mahuna po biljci

Rezultati ovih istraživanja su pokazali da je na nenavodnjavanjem tretmanima značajno smanjena masa mahuna po biljci soje (tabela 5). Najveća prosečna vrednost (11,84 g) bila je u tretmanu T₂. Meteorološki uslovi tokom vegetacionog perioda soje uticali su da se i po eksperimentalnim godinama ostvare veoma značajne razlike u navedenoj masi. U relativno vlažnoj 2006. vegetacionoj sezoni, nezavisno od varijanti proučavanja, ostvarena je najveća prosečna vrednost mase mahuna (11,73 g), dok je najmanja (8,23 g) bila u sušnoj 2008. godini. Masa mahuna po biljci soje u direktnoj je zavisnosti od broja formiranih mahuna i broja zrna po biljci, koji značajno zavise od snabdevenosti biljaka vodom (Hymowitz, 1990). U ranijim istraživanjima potvrđeno je da vodni stres uzrokuje smanjenje mase mahuna soje (Westgate i Peterson, 1993; Kokubun et al., 2001).

Tabela 5. Masa mahune sa zrnom po biljci (g).
 Table 5. Mass of pod with seeds per plant (g).

Godina Year	Varijante/Treatments				Prosek Average
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₀	
2006.	11,95	13,55	10,77	10,65	11,73
2007.	11,28	11,41	10,03	9,31	10,51
2008.	8,82	10,55	8,22	5,34	8,23
Prosek Average	10,68	11,84	9,67	8,43	10,17
Analiza varijanse/Analysis of variance					
Izvor varijacije/Source of variance (C _v – 0,80)	F value	Prob.	LSD		
			0,05	0,01	
Godina/Year (Y)	2355,1753	0,0000**	0,1159	0,1665	
Varijante/Treatments (T)	3823,2286	0,0000**	0,0701	0,0946	
Y x T	372,4998	0,0000**	0,1214	0,1639	

Uticaj vodnog režima na masu zrna po biljci

Masa zrna po biljci imala je sličnu reakciju na navodnjavane tretmane kao što je imala i masa mahuna sa zrnom po biljci soje. Svi navodnjavani tretmani imali su veće vrednosti nego nenavodnjavani (T₀) tretman (tabela 6). U sve tri eksperimentalne godine najveće vrednosti mase zrna postignute su u tretmanu T₂, i varirale su od 46,6 do 54,1 g po biljci. Sa povećanjem norme zalivanja iznad 70–75% PVK-a (T₂) utvrđeno je značajno smanjenje mase zrna po biljci. Prosečne vrednosti mase zrna po biljci u navodnjavanim tretmanima bile su za 22% (T₁), 30% (T₂) odnosno 13% (T₃) veće nego u kontrolnoj nenavodnjavanoj varijanti (T₀). Dostupnost biljnih hraniva (asimilata) je glavni faktor koji određuje broj mahuna i zrna i masu zrna po biljci (Kobraee i Shamsi, 2011).

Tabela 6. Masa zrna po biljci (g).
 Table 6. Mass of seeds per plant (g).

Godina Year	Varijante/Treatments				Prosek Average
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₀	
2006.	9,41	10,74	8,23	8,17	9,14
2007.	8,79	9,07	7,75	7,21	8,21
2008.	6,71	8,07	6,38	4,05	6,30
Prosek Average	8,31	9,29	7,46	6,47	7,88
Analiza varijanse/Analysis of variance					
Izvor varijacije/Source of variance (C _v – 2,40)	F value	Prob.	LSD		
			0,05	0,01	
Godina/Year (Y)	468,7802	0,0000**	0,2131	0,3062	
Varijante/Treatments (T)	482,4981	0,0000**	0,1589	0,2146	
Y x T	38,7496	0,0000**	0,2753	0,3717	

Uticaaj vodnog režima na masu 1.000 zrna soje

Efekat tretmana navodnjavanja na masu semena na nivou verovatnoće 0,01 bio je vrlo značajan (tabela 7). Najveća prosečna masa zrna (206,09 g) postignuta je na navodnjavanom T₂ tretmanu, a najniža (186,32 g) na nenavodnjavanom (T₀). Biljke u tretmanu T₁ imale su veći vegetativni rast koji je uzrokovao smanjenje mase zrna u poređenju sa ostalim tretmanima. Statistički veoma značajne razlike ostvarene su i po godinama proučavanja. Najveće prosečne vrednosti mase 1.000 zrna (210,10 g) ostvarene su 2006. godine, a najmanje (187,73 g) u relativno najsuvljoj eksperimentalnoj 2008. godini. Godine i tretmani imali su značajnu interakciju na masu semena ($P < 0,01$). Međutim, za razliku od naših istraživanja, Pedersen i Lauer (2004) navode da navodnjavanje nije uticalo na masu semena soje u agroekološkim uslovima Arlingtona (Viskonsin), verovatno zbog velike količine padavina ravnomerno raspoređenih tokom vegetacionih sezona.

Mansouri-Far et al. (2010) navode da vodni stres, tj. zemljišna suša tokom vegetacionog perioda useva smanjuje proizvodnju asimilata zbog smanjene zelene površine listova. Prema tim navodima, smanjenje proizvodnje i rezervi ugljenih hidrata tokom vegetativne i/ili reproduktivne fenofaze razvića soje usled deficita vode u zemljištu verovatno je u našim istraživanjima uzrokovalo znatno manje vrednosti mase 1.000 zrna u tretmanima T₀ i T₃ u poređenju sa tretmanima T₁ i T₂.

Tabela 7. Masa 1.000 zrna soje (g).

Table 7. Mass of 1,000 seeds of soya bean (g).

Godina <i>Year</i>	Varijante/ <i>Treatments</i>				Prosek <i>Average</i>
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₀	
2006.	212,03	214,68	207,74	205,94	210,10
2007.	197,13	203,98	178,92	178,53	189,64
2008.	192,93	199,61	183,87	174,50	195,82
Prosek <i>Average</i>	200,69	206,09	190,18	186,32	409,84
<i>Analiza varijanse/Analysis of variance</i>					
Izvor varijacije/ <i>Source of variance</i> (C _v – 1,01)	F value	Prob.	LSD		
			0,05	0,01	
Godina/ <i>Year</i> (Y)	475,1839	0,0000**	1,820	2,615	
Varijante/ <i>Treatments</i> (T)	257,0199	0,0000**	1,656	2,237	
Y x T	25,8771	0,0000**	2,869	3,874	

Uticaaj vodnog režima na zapreminsku masu zrna soje

Ispitani vodni režimi su imali statistički veoma značajan uticaj na zapreminsku masu zrna soje, kako u trogodišnjem proseku tako i po godinama eksperimentalnih

istraživanja (tabela 8). Vodni stres u uslovima prirodnog vodnog režima (T_0) značajno je smanjio zapreminsku masu zrna u poređenju sa navodnjavanim tretmanima. Najveća prosečna vrednost, posmatrano sa aspekta primenjenih vodnih režima, utvrđena je u varijanti T_2 ($72,52 \text{ kg hl}^{-1}$). Po godinama proučavanja ostvarene su, takođe, male ali statistički veoma značajne razlike kako za nivo signifikantnosti od 5% tako i za nivo od 1%. U trogodišnjem proseku biljkama soje najviše su pogodovali agroekološki uslovi 2006. godine kada je utvrđena najveća prosečna vrednost zapreminske mase zrna – $72,88 \text{ kg hl}^{-1}$. Najmanja prosečna zapreminska masa zrna soje, $70,86 \text{ kg hl}^{-1}$, ostvarena je u sušnoj 2008. godini.

Tabela 8. Zapreminska masa zrna soje (kg hl^{-1}).

Table 8. Hectoliter mass of soya bean seeds (kg hl^{-1}).

Godina <i>Year</i>	Varijante/ <i>Treatments</i>				Prosek <i>Average</i>
	T_1	T_2	T_3	T_0	
2006.	72,72	73,45	72,70	72,66	72,88
2007.	72,88	72,98	72,50	72,32	72,67
2008.	70,90	71,12	70,87	70,56	70,86
Prosek <i>Average</i>	72,17	77,18	76,66	71,85	72,14
Analiza varijanse/ <i>Analysis of variance</i>					
Izvor varijacije/ <i>Source of variance</i> ($C_v - 0,24$)	F value	Prob.	LSD		
			0,05	0,01	
Godina/ <i>Year</i> (Y)	467,2384	0,0000**	0,1639	0,2355	
Varijante/ <i>Treatments</i> (T)	33,4020	0,0000**	0,1426	0,1926	
Y x T	3,4292	0,0120**	0,2471	0,3336	

Uticaj vodnog režima na prinos zrna soje

Trogodišnji uticaj istraživanih režima navodnjavanja na prinos zrna soje prikazan je u tabeli 9. Kako u pojedinim godinama, tako i u trogodišnjem proseku postignuti su veći prinosi u navodnjavanim tretmanima nego u nenavodnjavanom tretmanu, a što je rezultat učinka većeg kapaciteta raspoložive vode biljkama tokom vegetacionog perioda. Prosečno relativno povećanje prinosa zrna zbog navodnjavanja po tretmanima T_1 , T_2 i T_3 u poređenju sa nenavodnjavanim tretmanom bilo je oko 22, 30 odnosno 13%. Upoređujući prinose između pojedinih navodnjavanih tretmana u toku sve tri godine eksperimentalnih istraživanja, utvrđeno je da su najveći prinosi ostvareni u T_2 , a najmanji u T_3 tretmanu. Iako je tretman T_2 dobio oko 37% manje vode za navodnjavanje u poređenju sa T_1 , prinos soje u tretmanu T_2 veći je u proseku za oko 11% nego u tretmanu T_1 . Rezultati ovih istraživanja jasno pokazuju da povećanjem vlažnosti zemljišta iznad 70–75% PVK-

a dolazi do značajnog smanjenja prinosa semena soje. Prosečan maksimalni prinos bio je u 2006. godini ($3,64 \text{ t ha}^{-1}$), a minimalni u relativno suvoj 2008. godini ($2,52 \text{ t ha}^{-1}$). Utvrđena je i značajna varijabilnost prinosa po godinama istraživanja zbog klimatskih faktora. Poređenjem prinosa soje gajene u prirodnom vodnom režimu po godinama istraživanja može se zapaziti da je u 2006. godini sa najvećom količinom padavina u vegetacionom periodu postignut značajno veći prinos nego 2007. i 2008. godine kada je palo znatno manje kiše. Ova varijabilnost se delimično može pripisati razlikama u količini padavina i njihovom rasporedu tokom vegetacionog perioda (grafikon 1). Bilo je manje padavina tokom septembra (nalivanje mahuna) u 2007. godini u odnosu na 2005. i 2006. vegetacionu sezonu.

Tabela 9. Prinosi zrna soje po tretmanima proučavanja (t ha^{-1}).

Table 9. Seed yield of soya bean per investigated treatments (t ha^{-1}).

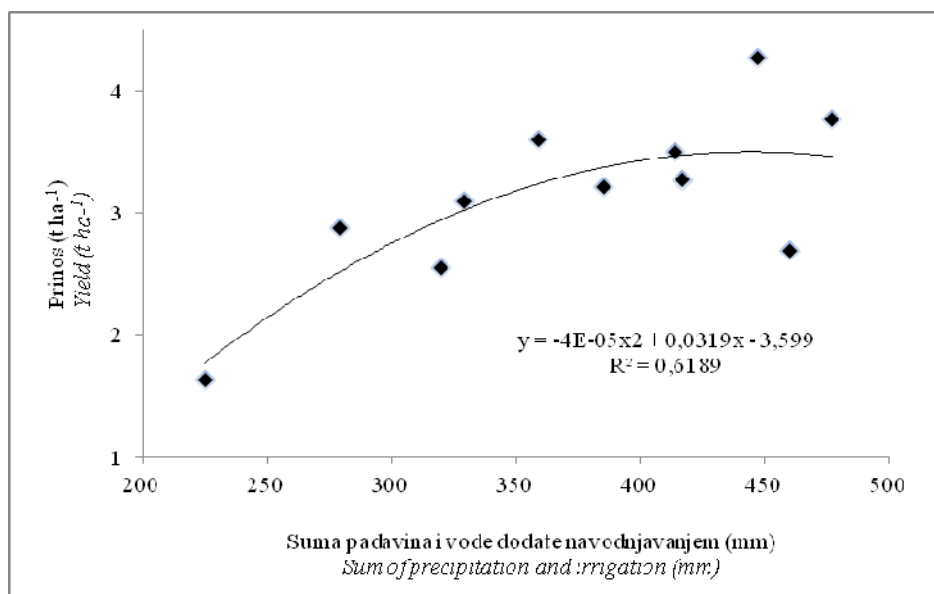
Godina <i>Year</i>	Varijante/Treatments				Prosek <i>Average</i>
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₀	
2006.	3,77	4,27	3,27	3,26	3,64
2007.	3,50	3,60	3,09	2,88	3,27
2008.	2,69	3,21	2,55	1,63	2,52
Prosek <i>Average</i>	3,32	3,69	2,97	2,59	3,14

Analiza varijanse/ <i>Analysis of variance</i>				
Izvor varijacije/ <i>Source of variance</i> ($C_v - 3,49$)	F value	Prob.	LSD	
			0,05	0,01
Godina/ <i>Year</i> (Y)	313,5662	0,0000**	0,1043	0,1498
Varijante/ <i>Treatments</i> (T)	220,9430	0,0000**	0,0918	0,1239
Y x T	18,1314	0,0000**	0,1589	0,2146

Smanjenje mase zrna po biljci i prinosa u našim istraživanjima potvrđuje uticaj vodnog stresa na gajeni usev. U ovom eksperimentu, ukupno smanjenje prinosa verovatno je, najvećim delom, posledica smanjenja broja mahuna za vreme cvetanja i njihovog ranog razvoja. U prethodnim istraživanjima potvrđeno je da vodni stres uzrokuje smanjenje mase mahuna soje (Westgate i Peterson, 1993; Kokubun et al., 2001). Maksimović i sar. (2005) su u trogodišnjim (2002–2004) istraživanjima koja su slična našim utvrdili da različite norme zalivanja, tj. nivoi predzalivne vlažnosti zemljišta povećavaju prinos soje za 29–38% u agroklimatskim uslovima Vojvodine. U ispitivanju sličnom našem, Sincik et al. (2008) su u sub-humidnim klimatskim uslovima Turske (Bursa) na navodnjavanim tretmanima ostvarili za 11,7–45,0% veće prinose soje u odnosu na nenavodnjavani tretman; povećanja su bila veća sa većim normama zalivanja. I mnogi drugi istraživači utvrdili su slične rezultate u različitim agroklimatskim i zemljišnim uslovima (Brevedan i Egli, 2003; Demirtaş et al., 2010; Arora et al., 2011). Da bi

utvrdili reakciju komponenata prinosa soje na različite sisteme gajenja i vremena setve, Pedersen i Lauer (2004) su sproveli četvorogodišnja eksperimentalna istraživanja na dve lokacije u Viskonsinu (SAD). Suprotno našim rezultatima, navedeni autori su utvrdili da navodnjavanje nije imalo uticaja na prinos zrna ili bilo koju drugu komponentu prinosa, osim na povećanje od 1% prinosa zrna po mahuni u Arlingtonu, zbog adekvatnog rasporeda padavina tokom svih vegetacionih sezona. Ovaj paradoks još jednom potvrđuje činjenicu da je za visok prinos useva značajniji raspored padavina u pojedinim periodima vegetacije nego njihova ukupna količina.

Na osnovu trogodišnjih rezultata istraživanja utvrđena je značajna polinomialna veza između prinosa soje i ukupne količine prispele vode u zemljište (padavine plus voda dodata navodnjavanjem) sa koeficijentima $R^2 = 0,6189$ (grafikon 2). Rezultati proučavanja pokazuju da se u zemljišno-klimatskim uslovima ispitivanog područja može postići prinos zrna soje od $3,50 \text{ t ha}^{-1}$, pri utrošku 446 mm vode u toku vegetacione sezone.



Grafikon 2. Međusobni odnos prinosa zrna i sume raspoložive vode u zemljištu tokom vegetacionog perioda soje.

Figure 2. Relationship between grain yield and sum of the available soil water during the growing season of soya bean.

Da bi se postigli maksimalni prinosi, vlažnost zemljišta pod sojom treba održavati na nivou 70–75% PVK-a. Za ispitano agroekološko područje ovo podrazumeva primenu navodnjavanja normom od 60 mm .

Zaključak

Na osnovu trogodišnjih ispitivanja uticaja različitih vodnih režima na rast, prinos i komponente prinosa soje gajene na karbonatnom, praškasto glinastom černozemu u Sremu, utvrđeni rezultati omogućavaju donošenje određenih zaključaka. Stabilni i visoki prinosi soje u ovom proizvodnom rejonu mogući su jedino u uslovima navodnjavanja. Uticaj navodnjavanja na prinos zrna bio je mnogo veći u suvljoj godini nego u godinama sa većim količinama i povoljnijim rasporedima padavina u toku vegetacionog perioda. Prinos se značajno smanjuje kada se količina vode za navodnjavanje poveća, tj. kada se primenjuje tretman T₁. Pri optimalnoj (70–75% poljskog vodnog kapaciteta – tretman T₂) obezbeđenosti useva vodom postižu se visoki prinosi soje, veći od 4 t ha⁻¹. Međutim, ako su vodni resursi za navodnjavanje ogranični ili skupi, tada se za proizvodnju soje u ovom regionu može koristiti i tretman T₃, pri čemu će doći do izvesnog smanjenja prinosa u odnosu na tretman T₂.

Zahvalnica

Istraživanja u ovom radu su delovi projekata III–43009 (Nove tehnologije za monitoring i zaštitu životnog okruženja od štetnih hemijskih supstanci i radijacionog opterećenja) i TR–31037 (Integralni sistemi gajenja ratarskih useva: očuvanje biodiverziteta i plodnosti zemljišta) podržanih od Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

- Adeboye, O.B., Schultz, B., Adekalu, K.O. & Prasad, K. (2015). Crop water productivity and economic evaluation of drip-irrigated soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Agriculture and Food Security*, 4, 1-13.
- Arora, V.K., Singh, C.B., Sidhu, A.S. & Thind, S.S. (2011). Irrigation, tillage and mulching effects on soybean yield and water productivity in relation to soil texture. *Agricultural Water Management*, 98, 563-568.
- Asley, D.A. (1983). Soybean. In I. D. Teare & M. M. Peet (Eds.), *Crop-Water Relations*. (pp. 389-422). New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Atti, S., Bonnell, R., Smith, D. & Prasher, S. (2004). Response of an indeterminate soybean (*Glycine max* (L.) Merr) to chronic water deficit during reproductive development under greenhouse conditions. *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 29, 209-222.
- Barrett, J.W.H. & Skogerboe, G.V. (1978). Effect of irrigation regime on maize yields. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 104, 179-194.
- Bennouna, B., Lahrouni, A., Bethenod, O., Fournier, C., Andrieu, B. & Khabba, S. (2004). Development of maize internode under drought stress. *Agronomy Journal*, 3, 94-102.
- Brevedan, R.E. & Egli, D.B. (2003). Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. *Crop Science*, 43, 2083-2088.
- Bošnjak, Dj. (1983). Evaporation from the free water surface as a base for irrigation schedule of corn and soybean. *Journal of Scientific Agricultural Research*, 44, 323-344.

- Bošnjak, Dj. (2001). The problems of drought in the Vojvodina province and drought control measures. *A Periodical of Scientific Research on Field and Vegetable Crops*, 35, 391-402.
- Demirtaş, Ç., Yazgan, S., Candogan, B.N., Sincik, M., Büyükcangaz, H. & Göksoy, A.T. (2010). Quality and yield response of soybean (*Glycine max* L. Merrill) to drought stress in sub-humid environment. *African Journal of Biotechnology*, 9, 6873-6881.
- English, M.J., Musick, J.T. & Murty, V.V. (1990). Deficit irrigation. In G.J. Hoffman, T.A., Towell & K.H. Solomon (Eds.), *Management of farm irrigation systems*. (pp. 631-655). ASAE Monograph, Michigan, St. Joseph.
- Fereres, E., Goldhamer, D.A. & Parsons, L.R. (2003). Irrigation water management of horticultural crops. Historical review compiled for the American Society of Horticultural Science's 100th Anniversary. *Horticultural Science*, 38, 1036-1042.
- Hymowitz, T. (1990). Soybeans: the success story. In J. Janick & J.E. Simon (Eds.), *Advances in New Crops: Proceedings of the First National Symposium on New Crops: Research, Development, Economics* (pp. 159-163). Indiana.
- Kadhem, F.A., Specht, J.E. & Williams, J.H. (1985). Soybean irrigation serially timed during stages R1 to R6. II. Yield component responses. *Agronomy Journal*, 77, 299-304.
- Kobraee, S. & Shamsi, K. (2011). Sink-source relationships in soybean. *Annals of Biological Research*, 2, 334-342.
- Kokubun, M., Shimada, S. & Takahashi, M. (2001). Flower abortion caused by preanthesis water deficit is not attributed to impairment of pollen in soybean. *Crop Science*, 41, 1517-1521.
- Maksimović, L., Pejić, B., Milić, S. & Radojević, V. (2005). Efekat navodnjavanja na evapotranspiraciju i prinos soje. *Vodoprivreda*, 37, 239-244.
- Mansouri-Far, C., Sanavy, S.A.M. M. & Saberli, S.F. (2010). Maize yield response to deficit irrigation during low-sensitive growth stages and nitrogen rate under semi-arid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 97, 12-22.
- Oya, T., Nepomuceno, A.L., Neumaier, N., Farias, J.R.B., Tobita, S. & Ito, O. (2004). Drought tolerance characteristics of Brazilian soybean cultivars: evaluation and characterization of drought tolerance of various Brazilian soybean cultivars in the field. *Plant Production Science*, 7, 129-137.
- Pedersen, P. & Lauer, J.G. (2004). Response of soybean yield components to management system and planting date. *Agronomy Journal*, 96, 1372-1381.
- Rosadi, R.A.B., Afandi, M.S., Senge, M., Ito, K. & Adomako, J.T. (2005). Critical water content and water stress coefficient of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) under deficit irrigation. *Paddy and Water Environment*, 3, 219-223.
- Scott, H.D., Ferguson, J.A. & Wood, L.S. (1986). Water use, yield, and dry matter accumulation by determinate soybean grown in a humid region. *Agronomy Journal*, 79, 870-875.
- Sincik, M., Candogan, B.N., Demirtaş, C., Büyükcangaz, H., Yazgan, S. & Göksoy, A.T. (2008). Deficit irrigation of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] in a sub-humid climate. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194, 200-205.
- Sionit, N. & Kramer, P.J. (1977). Effect of water stress during different stages of growth of soybean. *Agronomy Journal*, 69, 274-278.
- SGS – Statistički godišnjak (2014). Republika Srbija, Republički zavod za statistiku. Preuzeto 27. aprila 2016., www.rzs.rs.ba/front/article/1331/.
- Sutherland, P.L. & Danileson, R.E. (1980). Soybean response to evapotranspiration deficit. *Agronomy Abstracts*, 1, 192-193.
- Tapanarova, Đ.A. (2011). *Produkcija biomase kukuruza i soje na černozeu u uslovima različite vlažnosti zemljišta*. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Beograd.
- Westgate, M.E. & Peterson, C.M. (1993). Flower and pod development in water-deficient soybeans (*Soybean max* L. Merr). *Journal of Experimental Botany*, 44, 107-117.

Primljeno: 9. juna 2016.

Odobreno: 5. septembra 2016.

EFFECT OF IRRIGATION REGIME ON YIELD AND YIELD COMPONENTS OF SOYA BEAN

**Branka J. Kresović¹, Boško A. Gajić^{2*}, Angelina Đ. Tapanarova²,
Borivoj S. Pejić³, Snežana D. Dragović⁴ and Ranko M. Dragović⁵**

¹Maize Research Institute "Zemun Polje", Slobodana Bajića 1, 11185 Zemun Polje, Serbia

²University of Belgrade, Faculty of Agriculture,
Nemanjina 6, 11080 Belgrade-Zemun, Serbia

³University of Novi Sad, Faculty of Agriculture,
Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Serbia

⁴University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences,
POB 522, 11001 Belgrade, Serbia

⁵University of Niš, Faculty of Science and Mathematics, Department of Geography,
Višegradska 33, 18000 Niš, Serbia

A b s t r a c t

This study examines the effects of different irrigation regimes on seed yield and yield components of sprinkler-irrigated soya bean [*Glycine max* (L.) Merr.] under field conditions in 2006, 2007 and 2008 in Zemun Polje (Srem, Srbija). Four irrigation regimes: 80–85% (T₁), 70–75% (T₂), 60–65% (T₃) of field capacity, and non-irrigated regime (T₀) were evaluated each experimental year. The experimental design was a randomised complete block with four replications on a Calcaric Chernozem. Water stress (drought) during growing season in the non-irrigated treatment (T₀) decreased plant physiological activity, vegetative growth, and productivity of soya bean. Irrigation treatments significantly ($P < 0.01$) influenced soya bean seed yield and yield components. The treatment T₂ produced higher seed yield than T₁ and T₃. Irrigation regimes had statistically significant different effects on yield components such as the plant height at harvest, number of pods per plant, number of seeds per plant, mass of pod with seeds per plant, 1,000 seed mass and hectoliter mass of soya bean seeds. Yield reduction was mainly due to a lower number of pods and seeds per plant and lower seed mass. The T₁ treatment had the highest plant height of soya bean in all three growing years. The results have shown that under water scarcity, the treatment T₃ is an acceptable irrigation strategy to stabilize and increase soya bean yield in Srem and neighboring countries in the region, provided that this practice is not prevented by economic constraints.

Key words: water stress, sprinkler irrigation, plant height, number of pods per plant, number of seeds per plant, mass of 1,000 seeds.

Received: June 9, 2016
Accepted: September 5, 2016

*Corresponding author: e-mail: bonna@agrif.bg.ac.rs