

EFEKAT TRETMANA SEMENA ELEKTROMAGNETNIM POLJEM
NISKIH FREKVENCIJA NA PRODUKTIVNOST SOJE

Marija D. Bajagić^{1*}, Vojin H. Đukić², Vojin D. Cvijanović³,
Miroslav R. Nedeljković¹, Gordana K. Dozet⁴,
Vesna I. Stepić⁴ i Gorica T. Cvijanović⁵

¹Univerzitet Bijeljina, Poljoprivredni fakultet, Republika Srpska, BiH

²Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, Srbija

³Institut za primenu nauke u poljoprivredi, Beograd, Srbija

⁴Univerzitet Megatrend, Fakultet za biofarming, Bačka Topola, Srbija

⁵Univerzitet Kragujevac, Institut za informacione tehnologije, Kragujevac, Srbija

Sažetak: Razvoj nauke i tehnologije ide u pravcu introdukcije novih pristupa u oplemenjivanju biljaka i različitih metoda za povećanja produktivnosti biljaka. Jedna od najnovijih metoda je implementacija ekološki prihvatljive tehnike korišćenja pulsirajućeg elektromagnetnog polja niskih frekvencija (PEMP). U radu su prikazani rezultati uticaja elektromagnetne stimulacije semena soje na masu zrna po biljci, masu 1.000 zrna i prinos zrna u različitim agroekološkim uslovima. U trogodišnjem istraživanju, u periodu od 2013. do 2015. godine, korišćena je sorta soje Valjevka, gajena pri različitim količinama đubriva (kontrola – bez đubrenja, 750 kg/ha i 1300 kg/ha). Pre setve, seme je bilo podvrgnuto stimulaciji sa PEMP u varijantama: kontrola – bez stimulacije i stimulacija naizmjeničnim magnetnim poljem sa indukcijom od 30 mT i vreme ekspozicije od 15 minuta. Prosečna masa zrna po biljci pri stimulaciji semena bila je za 11,53% (12,09) viša nego bez PEMP (10,84). Masa 1.000 zrna sa PEMP je iznosila 155,99 g, što je bilo više za 2,06% u odnosu na varijantu bez PEMP (152,83 g). Prosečan prinos zrna soje za sve tri godine istraživanja sa stimulacijom semena je bio za 4,85% veći (3481,25 kg/ha) nego bez PEMP (3320,14 kg/ha). Stimulacija semena sa PEMP ima ekonomsku opravdanost, obzirom na rast cena soje na svetskoj berzi. Rezultati pokazuju da PEMP tretman semena soje može značajno uticati na prinos zrna soje i da se suprotstavi neželjenim efektima poput suše i nedostatka đubriva.

Cljučne reči: soja, pulsirajuće elektromagnetno polje, masa 1.000 zrna, prinos.

* Autor za kontakt: e-mail: marijacvijanovic@yahoo.com

Uvod

Biljka soje (*Glycine max* (L.) Merr.) postaje sve interesantnija na svetskom tržištu. Razlog tome se ogleda u njenom privrednom i ekonomskom značaju. Visoka hranljiva vrednost zrna, sa 40% proteina i 20% ulja, predstavlja značajan izvor biljnih ulja, stočne hrane i hrane za ljudsku ishranu (Young, 1991). Dorff (2007) opisuje upotrebu soje, gde se posebne sorte soje mogu koristiti u svežem stanju u ishrani životinja, a suvo zrelo seme za ishranu životinja i ljudi. Posebno se izdvaja upotreba zrna soje u različitim granama industrije. Soja predstavlja tipičan primer biljke koja je među prvima korišćena u genetskom inženjeringu (Nikolić et al., 2019), potom u oplemenjivanju biljaka (Lewandowska i Kozak, 2017), kao i u mnogim istraživanjima koja se vrše radi povećanja prinosa i hemijskog sastava zrna. Posebna pažnja je usmerena na različite tehnologije gajenja soje obzirom na njen pozitivan uticaj na fizička, hemijska i biološka svojstva zemljišta (Đukić et al., 2017). Uspostavljanje simbioze između korena soje i *Bradyrhizobium japonicum*, dovodi do formiranja kvržica i vezivanja azota iz vazduha, čime se prevodi u oblik koji je pogodan biljkama. Soja, takođe, ima veliku ulogu u plodoredu. Činjenica da svetska populacija konstantno raste uz sve brži razvoj nauke i tehnologije, te da je samim tim potrebno sve više hrane, sojin značaj raste kako u prerađivačkoj industriji, tako i u međunarodnoj trgovini i transportu.

Geomagnetno polje (GMF) je prirodna komponenta životne sredine, koja tokom procesa evolucije stabilno deluje na žive sisteme, i na mnoge biološke procese (Islam et al., 2020; Shabrangy et al., 2021). Električna i magnetna polja su prisutna na površini Zemlje u svakom trenutku. Prema Maffei (2014), prirodno magnetno polje Zemlje varira od 30 do 70 mT. Prva istraživanja stimulacije različitih nivoa magnetnih, električnih, elektromagnetnih, laserskih i ostalih talasa/polja obavljena su u medicini, za lečenje životinja i ljudi.

Poslednjih godina, razvijene su mnoge hipoteze koje pokušavaju da objasne uticaj električnog, magnetnog i elektromagnetnog polja na biljke (Lewandowska et al., 2019), iz razloga što su biljke odlični modeli za izvođenje eksperimenata. Pietruszewski et al. (2009) navode da su za ispitivanje uticaja elektromagnetnih polja (EPM) na biološke sisteme specijalizovane dve discipline: magnetobiologija i elektrobiologija. Isti autori smatraju da postoje tri glavna pravca eksperimenata u vezi sa ispitivanjem uticaja EMP na biljke: istraživanje uticaja izuzetno jakih polja (Sarraf et al., 2021), ispitivanje rasta biljaka u odsustvu magnetnog polja Zemlje (Negishi et al., 1999), i treća i najviše zastupljena istraživanja se odnose na uticaj EMP niskih frekvencija (Sujak et al., 2013; Lewandowska et al., 2019; Sarraf et al., 2021). Raznolikost efekata električnih i magnetnih polja na biološke organizme izvode se istraživanjima obavljenim i na nivou ćelije i na organizmima (Kataria et al., 2017; Nair et al., 2018). Postoji veliki broj istraživanja koji ukazuju na specifične promene i efikasno delovanje EMP na različite biohemijske procese

ćelija kod biljaka. Uvođenjem energije u ćelije stvaraju se molekularne transformacije, koje mogu dovesti do povećanja elektropotencijala membrana (Vasilevski, 2003), do aktiviranja jona i polarizacije dipola u živim ćelijama (Moon i Chung, 2000), kao i do procesa koji uključuju slobodne radikale tako što stimulišu aktivnost proteina i enzima (Jarayam et al., 1991). Abdel Latef et al. (2020) navode i pozitivne promene u procesu fotosinteze i sadržaj pigmenata, dok Radhakrishnan (2019) napominje prisustvo pojačane deobe ćelija, a samim tim i brži unos vode i hranljivih materija koje su potrebne biljkama.

Drugi istraživači ukazuju na promene u funkcionisanju celih proteinskih struktura, pa čak i tkiva (Broszkiewicz et al., 2018). U svojim istraživanjima koja su sprovedi, Radhakrishnan i Kumari Ranjitha (2012) navode uticaj stimulacije semena soje na povećanu aktivnost enzima kao što su b-amilaze, kisele fosfataze, polifenol oksidaze i katalaze. S druge strane, postoje pozitivni efekti tretiranja vode sa EMP, koji su doveli do promene fizičko-hemijskih svojstava molekula vode, a zalivanjem biljaka, došlo je do određenih biohemijskih reakcija (Moussa, 2011; Grewal i Maheshwari, 2011).

Najveći broj istraživanja se odnosi na izlaganje električnim, magnetnim i elektromagnetnim poljima koji su dali pozitivne ili negativne efekte na intenzitet klijanja, prinos, visinu biljke, sadržaj proteina, produktivnost, veličinu lista, masu ploda, broj plodova itd. Generalno, dobijeni rezultati ne zavise samo od biljnih vrsta (stopa rasta, period skladištenja), nego i od klimatskih uslova (temperature, vlažnost vazduha i zemljišta), kao i od vremena izloženosti, intenziteta i prirode polja. Doza izlaganja zavisi od dva parametra: gustine magnetnog polja i vremena izlaganja. Međutim, potrebna su dodatna sveobuhvatna istraživanja kako bi se razumeo i objasnio mehanizam uticaja EMP i biljaka, kao i različite interakcije koje nastaju.

Sve veći apel za očuvanje životne sredine i proizvodnju zdravstveno bezbedne hrane nameće ozbiljan zadatak poljoprivrdnim stručnjacima za iznalaženje novih tehnologija proizvodnje. U tom pravcu, Cakmak et al. (2012), Shine et al. (2012) i mnogi drugi autori govore o blagotvornim efektima pulsirajućeg elektromagnetnog polja (PEMP) na klijavost semena i parametre rasta ispitivanih biljnih vrsta, te se upotreba pulsirajućeg magnetnog polja uvodi kao jedna od ekološki prihvatljivih tehnika koje ispunjavaju zahteve organske poljoprivrede. S druge strane, globalne klimatske promene koje su sve učestalije, nepredvidive i dovode do ekstremnih uslova predstavljaju limitirajući faktor za ostvarivanje visokih prinosa i stabilne proizvodnje. Mnogi istraživači su ukazali na pozitivne promene na biljkama prilikom nepovoljnih spoljnih uslova, poput suše (Anand et al., 2012; Karimi et al., 2012; Sen i Alikamanoglu, 2014), saliniteta (Radhakrishnan i Ranjitha-Kumari, 2013), poplava, preventivnih i kurativnih mera zaštite bilja od korova (Stanković et al., 2016), bolesti i štetočina (Galland i Pazur 2005; Abdollahi et al., 2012).

Radhakrishnan (2019) objašnjava uticaj magnetnog polja na biljke i odličan potencijal u promeni konvencionalnih sistema biljne proizvodnje, radi eliminacije hemijskih inputa i toksičnih rezidua, što je u pozitivnoj korelaciji sa novim svetskim trendovima u cilju zaštite životne sredine u proizvodnji bezbedne hrane. Prednost ima korišćenje elektromagnetnih tretmana kao biostimulatora u odnosu na tradicionalne hemijske metode, jer ne ostavlja nikakav toksični efekat. Takođe, Cvijanović i Đukić (2020) navode prednosti primene ovih tretmana jer su ekološki i ekonomski prihvatljive. Osim toga, da istraživanja sa elektromagnetnim tretmanima pred setvu budu još preciznija i uspešnija, poželjno bi bilo prikupljanje podataka o prisutnim statičkim magnetnim poljima, kojima je zemlja konstantno izložena, a ti podaci često nedostaju u literaturi (Maffei, 2014), kao i podataka o istraživanjima koja se vrše na otvorenom polju pod različitim klimatskim uticajima (Đukić et al., 2017).

Različite frekvencije i vreme trajanja ekspozicije su korišćeni za različite eksperimente. Većina naučnih istraživanja zaključuje da MP, EMP i pulsirajuće EMP (PEMP) pozitivno utiču na bolju klijavost semena i rast biljaka, što rezultira povećanjem prinosa (Bilalis et al., 2013; da Silva i Dobránszki, 2016; Lewandowska et al., 2019; Sukhov et al., 2021). Međutim, najveći problem ovih istraživanja je što se obično svode na ekonomsku računicu.

Stoga je cilj ovog istraživanja ispitivanje stimulacije semena soje pre setve sa pulsirajućim elektromagnetnim poljem niske frekvencije na masu zrna po biljci, masu 1.000 zrna i prinos zrna u različitim agroekološkim uslovima.

Materijal i metode

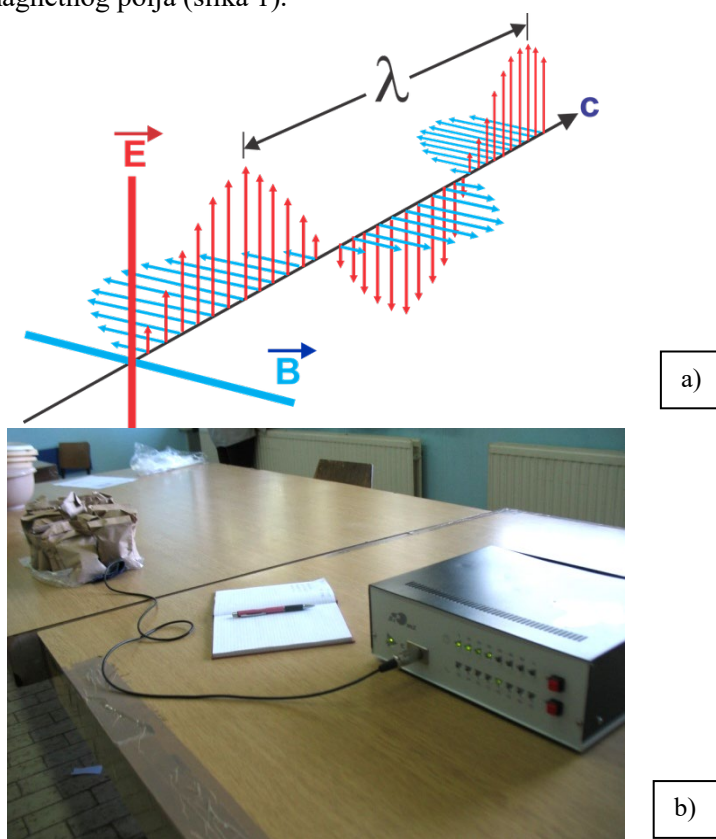
Poljski ogled je izveden po tzv. „split plot” sistemu, odnosno sistemu podeljenih parcela u 4 ponavljanja sa randomiziranim dizajnom na zemljištu tipa karbonatni černoziem, površine ($53 \text{ m} \times 23 \text{ m} = 1.219 \text{ m}^2$) u Institutu za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu, region Vojvodina – Srbija. Istraživanja su obavljena u trogodišnjem periodu (2013–2015). Svake godine je korišćena selekcija NS sorta soje Valjevka, 0 grupe zrenja, dužine vegetacionog perioda do 120 dana, genetskog potencijala za prinos iznad 4500 kg/ha. Ukupna površina parcele za izvođenje ogleada iznosila je 1.219 m^2 ($53 \text{ m} \times 23 \text{ m}$). Dužina redova u ponavljanjima osnovnih parcela je 11 m, u okviru kojih je dužina redova potparcela 5 m. Za svaku potparcelu pripremljeno je 500 zrna koja su stimulisana pulsirajućim elektromagnetnim poljem.

Ovim istraživanjima su obuhvaćena tri faktora (tretmana) i to:

- A) godina, jer klimatski uslovi utiču na vegetativan i generativan porast soje;
- B) količina organskog granulisanog živinskog đubriva (formulacije 4:4:4): Ø (kontrola), 750 kg/ha i 1300 kg/ha;

C) stimulacija semena PEMP – frekvencije 30 mT i ekspozicije 30 minuta, koja je urađena neposredno pred setvu.

Stimulacija semena soje je izvedena pomoću generatora impulsa i trakastog aplikatora (maksimalne frekvencije do 100 Hz i maksimalnog vremena trajanja do 60 minuta), preko koga se odvija proces pulsirajućeg naizmeničnog kretanja električnog i magnetnog polja (slika 1).



Slika 1. Elektromagnetni talas i priprema faktora C (a) Šema elektromagnetnog ravnog talasa koji prikazuje poprečno i u prostoru promenljivo električno (E) i magnetno polje (B). Talasna dužina (λ) je rastojanje između dva grebena. Pravac talasa je označen sa slovom c ; b) Aparat specifičnog spektralnog sadržaja u toku stimulacije semena neposredno pred setvu.

Prilikom aktiviranja električnog polja dolazi do ubrzavanja kretanja elektrona uz pomoć koga se formiraju oscilirajući električni i magnetni poremećaji što implicira stvaranje elektromagnetnog polja, odnosno talasa koji emituje određeni oblik energije. Tako stvoreni talasi imaju određene karakteristike, poput talasne

dužine i frekvencije. Talasna dužina predstavlja rastojanje između dva uzastopna vrha talasa. Frekvencija je broj ciklusa u određenom vremenskom periodu. Ona se meri kao broj talasnih ciklusa u sekundi i označava se jedinicom zvanom Herc (Hz).

Na kraju vegetacionog perioda u fazi tehnološke zrelosti biljaka obeleženi su i uzeti uzorci od po 30 biljaka, metodom slučajnog uzorka sa sva 4 ponavljanja i svih varijanti za analizu sledećih svojstava: masa zrna po biljci i masa 1.000 zrna, dok je nakon žetve izmeren prinos u kg/ha sveden na vlagu od 14%.

Rezultati istraživanja obrađeni su statistički analizom varijanse trofaktorijskog ogleada, a statistička značajnost razlika testirana LSD testom na 5% i 1% (Statistički program „Statistica 10.0”). Rezultati su prikazani tabelarno.

Sve prisutnija promena klime na ovim prostorima utiče na neravnomerno raspoređene padavine u toku godine, odnosno vegetacionog perioda, kao i pojavu suše usled povišenih temperatura, te je proizvodnja soje vrlo nestabilna. Cvijanović et al. (2019) ukazuju da ranija setva i stimulacija semena koja utiče na brže klijanje i porast biljaka predstavljaju bitne mere adaptacije na nastale klimatske promene. Podaci o temperaturi i padavinama prikazani u tabeli 1, prikupljeni su na meteorološkoj stanici Rimski Šančevi, nadomak Novog Sada. Suma padavina u vegetacionom periodu u sve tri ispitivane godine (2013 – 448,2 mm, 2014 – 595,6 mm, 2015 – 389,0 mm) bile su više od višegodišnje prosečne sume padavina za period od 1964. do 2015. (375,1 mm). Takođe, pored sume padavina veoma je bitan i raspored padavina, jer najveće količine vode su potrebne u fazama cvetanja, formiranja mahuna i nalivanja zrna soje (jun–avgust). Prosečna temperatura vazduha višegodišnjeg perioda iznosila je 18,0°C, što je niže u odnosu na sve tri ispitivane godine (2013 – 18,7°C; 2014 – 18,3°C; 2015 – 19,8°C). Ovi podaci ukazuju na brzu i nepredvidivu promenu klimatskih uslova na našim područjima.

Tabela 1. Prosečne sume padavina i temperature vazduha za vegetacioni period soje u trogodišnjem periodu (2013–2015) i višegodišnjem proseku (Rimski Šančevi).

	Suma padavina (mm)				Prosečne temperature (°C)			
	2013	2014	2015	1964–2015	2013	2014	2015	1964–2015
April	35,8	51,2	15,0	46,9	13,4	13,2	11,8	11,7
Maj	118,1	202,1	192,0	67,1	17,4	16,3	17,8	17,0
Jun	125,7	38,2	28,0	86,6	20,2	20,5	20,5	20,0
Jul	34,1	141,1	2,0	67,4	22,3	21,9	24,5	21,7
Avgust	26,7	78,7	99,0	59,3	22,9	20,9	24,4	21,2
Septembar	107,8	84,3	53,0	47,8	15,7	17,2	19,9	16,9
Prosek	448,2	595,6	389,0	375,1	18,6	18,3	19,8	18,0

Rezultati i diskusija

Produktivne osobine biljaka poput mase zrna po biljci i masa 1.000 zrna mogu imati značajan uticaj na visinu prinosa, a da pri tome i same zavise od različitih uticaja, kao što su uslovi spoljne sredine, đubrenje i drugi parametri proizvodnje, kao i odabir tehnologije po kojoj se proizvodnja izvodi. Za ostvarivanje visokog i stabilnog prinosa, soji je potrebno oko 300–350 mm vodenog taloga, od toga oko 80% je potrebno u reproduktivnim fazama, od kraja juna do septembra. Nedostatak padavina, visoke temperature i pojava sušnih perioda u navedenim fazama dovode do smanjenja prinosa, a uzrok tome je redukcija broja zrna po biljci i/ili mase hiljadu zrna. Kobraee i Shamsi (2012) navode da se smanjenje prinosa u zavisnosti od spoljnih uslova kreće od 25% do 55%.

Prosečna vrednost mase zrna po biljci (11,47 g) statistički se vrlo značajno razlikovala ($p < 0,01$) u toku tri godine istraživanja po svim nivoima ispitivanih faktora (tabela 2), izuzev đubrenja i interakcije godina-đubrenja koji su bili na nivou od 5%.

Tabela 2. Srednje vrednosti mase zrna po biljci (g) za ispitivane faktore.

Godina (A)	Đubrenje (kg/ha) (B)	Stimulacija semena (C)		AB	A		
		Bez PEMP	Sa PEMP				
2013	0	9,21	15,03	12,12	11,72		
	750	9,37	13,77	11,57			
	1300	10,84	12,09	11,47			
	AC	9,81	13,63				
2014	0	9,90	15,10	12,50	12,14		
	750	10,58	13,43	12,01			
	1300	11,04	12,82	11,93			
	AC	10,50	13,78				
2015	0	3,87	7,50	5,68	5,86		
	750	4,60	7,10	5,85			
	1300	5,80	6,28	6,04			
	AC	4,75	6,96				
BC	0	8,35	11,46	9,91			
	750	9,21	15,03	12,12			
	1300	9,37	13,77	11,57			
	C	10,84	12,09				
Prosek 2013–2015				11,47			
	A**	B*	C**	AB*	AC**	BC**	ABC**
LSD 0,05	0,49	0,24	0,17	0,41	0,30	0,30	0,51
LSD 0,01	0,58	0,32	0,23	0,56	0,40	0,40	0,60

Najveća masa zrna po biljci je utvrđena u 2014. godini – 12,14 g, što je bilo za 3,58% više nego u 2013. godini (11,72 g), dok je u 2015. godini bila dvostruko

manja i iznosila je samo 5,86 g. Razlog tome je nedostatak vlage u periodu koji je veoma bitan za formiranje prinosa zrna po biljci. S druge strane, visoke temperature i dugi sušni periodi su uticali na smanjenje mase zrna, što je u saglasnosti sa istraživanjima Kobraee i Shamsi (2012). Različite varijante đubrenja uticale su na varijabilnost mase zrna po biljci na nivou statističke značajnosti $p < 0,05$, gde je najveća masa zrna po biljci bila pri đubrenju sa 750 kg ha^{-1} (12,12 g), što je za 4,75% (11,57 g) više u odnosu na 2015. godinu i za 22,30 % u odnosu na kontrolu (9,91 g). Stimulacija semena sa PEMP bila je veoma izražena na nivou statističke značajnosti $p < 0,01$ (12,09 g) u odnosu na varijantu bez stimulacije semena (10,84 g). Pri stimulaciji semena, masa zrna po biljci je bila viša za 11,53% u odnosu na kontrolu. Đukić et al. (2017) ističu da frekvencija – 16 Hz i trajanje tretmana semena 30 minuta daju najbolji efekat na različite morfološke karakteristike soje. Radhakrishnan i Ranjitha-Kumari (2012) konstatuju da stimulacija semena sa PEMP igra važnu ulogu u poboljšanju stanja useva i produktivnosti soje kroz bržu akumulaciju minerala i enzimske aktivnosti, brže usvajanje vode, klijanje i nicanje, što na kraju dovodi do povećanja prinosa.

Đukić et al. (2011) navode da je masa 1.000 zrna visoko nasledna osobina, te zavisi od sorte soje odnosno genetskog faktora, agrometeoroloških uslova u proizvodnoj godini, tehnologije proizvodnje i plodnosti zemljište (tabela 3).

Tabela 3. Srednje vrednosti mase 1.000 zrna (g) za ispitivane tretmane.

Godina (A)	Đubrenje (kg/ha) (B)	Stimulacija semena (C)		AB	A		
		Bez PEMP	Sa PEMP				
2013	0	128,19	131,00	129,59	129,33		
	750	128,69	130,13	129,41			
	1300	128,94	129,06	129,00			
	AC	128,60	130,06				
2014	0	187,75	191,65	189,70	189,99		
	750	188,60	192,30	190,45			
	1300	187,90	192,85	190,38			
	AC	188,08	191,90				
2015	0	143,05	146,20	144,63	143,72		
	750	139,25	145,65	142,45			
	1300	143,05	145,10	144,08			
	AC	141,78	154,65				
BC	0	153,00	156,20	154,64			
	750	152,18	156,03	154,10			
	1300	153,30	155,67	154,48			
	C	152,83	155,87				
Prosek 2013–2015				154,41			
	A**	B ^{ns}	C**	AB ^{ns}	AC ^{ns}	BC ^{ns}	ABC ^{ns}
LSD 0,05	1,23	3,38	1,64	5,86	2,84	2,84	4,91
LSD 0,01	1,45	4,64	2,21	8,03	3,83	3,83	6,64

Dobijeni rezultati pokazuju da je masa 1.000 zrna pokazala visoko signifikantne razlike između godina i pri stimulaciji semena, dok su ostali ispitivani parametri bili bez statističke značajnosti. Najveća masa 1.000 zrna bila je u najpovoljnijoj proizvodnoj 2014. godini (189,99 g), za razliku od druge dve godine. Istraživanje Toleikiene et al. (2021) ukazuje da su nepovoljni uslovi tokom faze reproduktivnog rasta značajno uticali na smanjenje mase 1.000 zrna. Stimulacija semena sa PEMP je pozitivno uticala na povećanje mase 1.000 zrna (155,87 g) u odnosu na varijantu bez stimulacije (152,83) na nivou značajnosti od $p < 0,01$. Milošev i Šeremešić (2005) su utvrdili da je intezitet PEMP od 30Hz i 30 minuta značajno povećao masu 1.000 zrna ozime pšenice. Brojna istraživanja pokazuju da tretman semena stimuliše rastenje i prinos najvažnijih ratarskih biljaka, s tim da zavisi od jačine frekvencije i vremena izloženosti (Sujak et al., 2013; Maffei, 2014; Sarraf et al., 2021) u opsegu od 30 do 250 mT na fiziološke efekte, uključujući klijanje, rast, razvoj, fotosintezu i redoks status kod širokog spektra biljaka poput soje (Đukić et al., 2017), kukuruza (Florez et al., 2007), pšenice (Payez et al., 2013; Araujo Sde et al., 2016).

Na osnovu rezultata istraživanja utvrđeno je da su godina i stimulacija semena sa PEMP kao ispitivani faktori statistički vrlo značajno uticali na prinos zrna soje (tabela 4).

Tabela 4. Srednje vrednosti prinosa zrna soje (kg/ha) za ispitivane faktore.

Godina (A)	Đubrenje (kg/ha) (B)	Stimulacija semena (C)		AB	A		
		Bez PEMP	Sa PEMP				
2013	0	2.878,63	3.063,33	2.970,98	2.989,68		
	750	2.925,15	3.059,99	2.992,57			
	1300	2.978,01	3.032,99	3.005,50			
	AC	2.927,26	3.052,10				
2014	0	4.984,51	5.302,28	5.143,39	5.145,80		
	750	5.065,34	5.222,99	5.144,16			
	1300	5.087,80	5.211,92	5.149,86			
	AC	5.045,88	5.245,73				
2015	0	1.961,99	2.174,59	2.068,29	2.066,60		
	750	1.961,15	2.144,48	2.052,82			
	1300	2.038,72	2.118,66	2.078,69			
	AC	1.987,29	2.145,92				
BC	0	3.275,04	3.513,40	3.394,22			
	750	3.317,21	3.475,82	3.396,52			
	1300	3.368,18	3.454,53	3.411,35			
	C	3.320,14	3.481,25				
Prosek 2013–2015				3400,70			
	A**	B ^{ns}	C**	AB ^{ns}	AC ^{ns}	BC**	ABC ^{ns}
LSD 0,05	51,75	34,81	25,99	60,30	45,01	45,01	77,97
LSD 0,01	60,88	47,70	35,09	82,62	60,79	60,79	105,28

Prosečan prinos zrna soje iznosio je 3400,70 kg/ha. Najviši prinos utvrđen je u 2014. godini (5.145,80 kg/ha). U aridnoj 2015. godini utvrđen je najmanji prinos, svega 2.066,60 kg/ha, što je manje za 48,99% u odnosu na 2014. godinu i za 44,66% u odnosu na 2013. godinu (2.989,68 kg/ha). Brojne studije pokazuju jak uticaj faktora spoljne sredine na masu 1.000 zrna i prinos zrna soje (Đukić et al., 2011). Isti autori navode da visoke temperature u početnim fazama rasta i nedostatak padavina dovode do isušivanja površinskog sloja zemljišta, što negativno utiče na nicanje i porast biljke. Đubrenjem sa 1.300 kg/ha ostvaren je najveći prinos zrna soje (3.411,35 kg/ha), ali bez statističke značajnosti. Stimulacija semena je statistički značajno uticala na povećanje prinosa i to za 4,85% u odnosu na kontrolnu varijantu.

Vršena su brojna istraživanja u kojima se ističe pozitivan efekat upotrebe elektromagnetnog polja, različitih frekvencija i vremena trajanja, na organizme i na ćelijskom nivou (Payez et al., 2013; Nair et al., 2018; Radhakrishnan, 2019; Shabrangy et al., 2021; Sarraf et al., 2021). Na osnovu rezultata istraživanja, Đukić et al. (2017) ukazuju na povećanje prinosa za 7,25% stimulacijom semena sa PEMP sa frekvencijom 72 Hz i ekspozicije 60 minuta u odnosu na kontrolu, kao i povećanje prinosa za 8% sa frekvencijom 16 Hz u trajanju 30 minuta. Parsi (2007) izveštava o povećanju dužine korena soje za 49% u odnosu na kontrolu pri frekvenciji 0,88 T u trajanju od 40 minuta.

Zaključak

Na osnovu dobijenih rezultata izvode se sledeći zaključci: smanjenje mase zrna, mase 1.000 zrna kao i prinosa zrna soje bilo je izraženije u godinama sa nepovoljnim klimatskim uslovima i karakterističnim periodom suše. Masa zrna po biljci i masa 1.000 zrna su pokazatelji agroklimatskih i proizvodnih uslova u određenim godinama. Đubrenjem sa 750 kg/ha dobijene su najveće vrednosti ispitivanih parametara. Uvođenje novih tehnologija poput biostimulacije semena sa PEMP može uticati na stvaranje visokih i stabilnih prinosa, dodatno pri nepovoljnim agrometeorološkim uslovima, kao što je suša. Takođe, primena ovih tretmana se smatra ekološkom, jeftinom i neinvazivnom tehnikom.

Literatura

- Abdel Latef, A.A.H., Dawood, M.F.A., Hassanpour, H., Rezayian, M., & Younes, N.A. (2020). Impact of the Static Magnetic Field on Growth, Pigments, Osmolytes, Nitric Oxide, Hydrogen Sulfide, Phenylalanine Ammonia-Lyase Activity, Antioxidant Defense System, and Yield in Lettuce. *Biology (Basel)*, 9 (7), 172.
- Abdollahi, F., Niknam, V., Ghanati, F., Masroor, F., & Noorbakhsh, S.N. (2012). Biological effects of weak electromagnetic field on healthy and infected lime (*Citrus aurantifolia*) trees with phytoplasma. *The Scientific World Journal*, 2, 1-6.

- Anand, A., Nagarajan, S., Verma, A.P., Joshi, D.K., Pathak, P.C., & Bhardwaj, J. (2012). Pre-treatment of seeds with static magnetic field ameliorates soil water stress in seedlings of maize (*Zea mays* L.) *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*, 49 (1), 63-70.
- Araujo, Sde, S., Paparella, S., Dondi, D., Bentivoglio, A., Carbonera, D., & Balestrazzi, A. (2016). Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology. *Frontiers in Plant Science*, 7, 646.
- Bilalis, D., Katsenios, N., Efthimiadou, A., Efthimiadis, P., Karkanis, A., Khah, M., & Mitsis, T. (2013). Magnetic field pre-sowing treatment as an organic friendly technique to promote plant growth and chemical elements accumulation in early stages of cotton. *Australian Journal of Crop Science*, 7 (1), 46-50.
- Broszkiewicz, A., Detyna, J., & Bujak, H. (2018). Influence of the magnetic field on the germination process of Tosca Bean Seeds *Phaseolus vulgaris* L., *Plant Breeding and Seed Science*, 77, 103-116.
- Cakmak, T., Cakmak, Z.E., Dumlupinar, R., & Tekinay, T. (2012). Analysis of apoplastic and symplastic antioxidant system in shallot leaves: impacts of weak static electric and magnetic field. *Journal of Plant Physiology*, 169, 1066-1073.
- Cvijanović, G., Đukić, V., Cvijanović, M., Cvijanović, V., Dozet, G., Đurić, N., & Stepić, V. (2019). Značaj folijarnih tretmana soje u različitim agroekološkim uslovima na prinos zrna i sadržaj ulja. *Production and processing of oilseeds, Proceedings of the 60th oil industry conference* (pp. 79-86). Herceg Novi.
- Cvijanović, M. & Đukić, V. (2020). Application of biophysical in sustainable soybean production. Sustainable agriculture and rural development in terms of the Republic of Serbia strategic goals realization within the Danube region. *Institute of Agricultural Economics*, 339-356.
- da Silva, J.A. & Dobránszki, J. (2016). Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? *Protoplasma*, 253 (2), 231-48.
- Dorff, E. (2007). The soybean, agriculture's jack-of-trades, is gaining ground across Canada, *Canadian Agriculture at a Glance - Statistique Canada*, 96-325-XIE, 1-13.
- Đukić V., Balešević-Tubić, S., Đorđević, V., Tatić, M., Dozet, G., Jaćimović, G. & Petrović K. (2011). Prinos i semenski kvalitet soje u zavisnosti od uslova godine. *Ratarstvo i povrtarstvo*, 48 (1), 137-142.
- Đukić, V., Miladinov, Z., Dozet, G., Cvijanović, M., Tatić, M., Miladinović, J., & Balešević-Tubić, S. (2017). Pulsed electromagnetic field – a cultivation practice used to increase soybean seed germination and yield. *Žemdirbyste Agriculture*, 104 (4), 345-352.
- Florez, M., Carbonell, M.V., & Martinez, E. (2007). Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: effects on germination and early growth. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 68-75.
- Galland, P., & Pazur, A. (2005). Magnetoreception in plants. *Journal of Plant Research*, 118, 371-389.
- Grewal, H.S., & Maheshwari, B.L., (2011). Magnetic treatment of irrigation water and snow pea and chickpea seeds enhances early growth and nutrient contents of seedlings. *Bioelectromagnetics*, 32, 58-65.
- Islam, M., Maffei, M.E. & Vigani, G. (2020). The geomagnetic field is a contributing factor for an efficient iron uptake in *Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in Plant Science*, 11, 325.
- Jarayam, S., Castle, G.S., & Margaritis, A. (1991). Effects of high electric field pulses on *Lactobacillus Brevis* at elevated temperatures, *Conference Record, Industry Applications Society, IEEE-IAS Annual Meeting*, 674-681.
- Karimi, S., Hojati, S., Eshghi, S., Moghaddam, R.N., & Jandoust, S. (2012). Magnetic exposure improves tolerance of fig 'Sabz' explants to drought stress-induced in vitro. *Scientia Horticulturae*, 137, 95-99.

- Kataria, S., Baghel, L., & Guruprasad, K.N. (2017). Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *10*, 83-90.
- Kobraee, S., & Shamsi, K. (2012). Effect of drought stress on dry matter accumulation and morphological traits in soybean. *International Journal of Biosciences*, *10* (2), 73-79.
- Lewandowska, S., & Kozak, M. (2017). Current situation of seed production in the south western part of Poland, *Proceedings of the XIII National Professional and Scientific Seminar* (pp. 267-272). Prague.
- Lewandowska, S., Michalak, I., Niemczyk, K., Detyna, J., Bujak, H., & Arik, P. (2019). Influence of the Static Magnetic Field and Algal Extract on the Germination of Soybean Seeds, *Open Chemistry*, *17* (1), 516-525.
- Maffei, M.E. (2014). Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in Plant Science*, *5*, 445.
- Milošev, D., & Šeremešić, S. (2005). Uticaj pulsirajućeg elektromagnetnog polja na masu 1.000 zrna i broj zrna po klasu ozime pšenice, *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo* (pp. 269-274). Novi Sad.
- Moon, J., & Chung, H. (2000). Acceleration of germination of tomato seeds by applying AC electric and magnetic fields. *Journal of Electrostatics*, *48*, 103-114.
- Moussa, H. (2011). The impact of magnetic water application for improving common bean *Phaseolus vulgaris* L.) production, *New York Science Journal*, *4*, 15-20.
- Nair, R.M., Leelapriya, T., Dhilip, K.S., Boddepalli, V.N., & Ledesma, D.R. (2018). Beneficial effects of extremely low frequency (ELF) sinusoidal magnetic field (SMF) exposure on mineral and protein content of mungbean seeds and sprouts. *Indian Journal of Agricultural Research*, *52* (2), 126-132.
- Negishi, Y., Hashimoto, A., Tsushima, M., Dobrota, C., Yamashita, M., & Nakamura, T. (1999). Growth of pea epicotyl in low magnetic field - implication for space research. *Advances in Space Research*, *23* (12), 2029-2032.
- Nikolić, Z., Petrović, G., Ignjatov, M., Milošević, D., Jovičić, D. & Tamindžić, G. (2019). Genetically modified crops and food, *Hrana i Ishrana*, *60* (1), 1-4.
- Parsi, N. (2007). *Electromagnetic effects on soybeans*, University of Missouri Columbia.
- Payez, A., Ghanati, F., Behmanesh, M., Abdolmaleki, P., Hajnorouzi, A., & Rajabbeigi, E. (2013). Increase of seed germination, growth and membrane integrity of wheat seedlings by exposure to static and a 10-KHz electromagnetic field. *Electromagnetic Biology and Medicine*, *32*, 417-429.
- Pietruszewski, S., Muszyński, S., & Dziwulska, A. (2007). Electromagnetic fields and electromagnetic radiation as non-invasive external stimulants for seeds (selected methods and responses), *International Agrophysics*, *21*, 95-100.
- Radhakrishnan, R. (2019). Magnetic field regulates plant functions, growth and enhances tolerance against environmental stresses. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *25* (5), 1107-1119.
- Radhakrishnan, R., & Ranjitha-Kumari, B. (2012). Pulsed magnetic field: A contemporary approach offers to enhance plant growth and yield of soybean. *Plant Physiology and Biochemistry*, *51*, 139-144.
- Radhakrishnan, R., & Ranjitha-Kumari, B.D. (2013). Protective role of pulsed magnetic field against salt stress effects in soybean organ culture. *Plant Biosystems*, *147* (1), 135-140.
- Sarraf, M., Kataria, S., Taimourya, H., Santos, Lucielen, O., Menegatti, D.R., Jain, M., Ihtisham, M., & Liu, S. (2021). Magnetic Field (MF) Applications in Plants: An Overview, *Plants*, *9*, 1139.
- Sen, A., & Alikamanoglu, S. (2014). Effects of static magnetic field pretreatment with and without PEG 6000 or NaCl exposure on wheat biochemical parameters. *Russian Journal of Plant Physiology*, *61* (5), 646-655.
- Shabrangy, A., Ghatak, A., Zhang, S., Priller, A., Chaturvedi, P., & Weckwerth, W. (2021). Magnetic Field Induced Changes in the Shoot and Root Proteome of Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Frontiers in Plant Science*, *12*, 622795.

- Shine, M.B., Guruprasad, K.N., & Anand, A. (2012). Effect of Stationary Magnetic Field Strengths of 150 and 200 mT on Reactive Oxygen Species Production in Soybean. *Bioelectromagnetics*, 33, 428-437.
- Stankovic, M., Cvijanovic, M., & Dukic, V. (2016). Ecological importance of electrical devices innovative in the process of anti *Ambrosia artemisiifolia* L. *Economics of Agriculture*, 3, 861-870.
- Sujak, A., Dziwulska-Hunek, A., & Reszczyńska, E. (2013). Effect of Electromagnetic Stimulation on Selected *Fabaceae* Plants. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22 (3), 893-898.
- Sukhov, V., Sukhova, E., Sinitsyna, Y., Gromova, E., Mshenskaya, N., Ryabkova, A., Lin, N., Vodeneev, V., Mareev, E., & Price, C. (2021). Influence of Magnetic Field with Schumann Resonance Frequencies on Photosynthetic Light Reactions in Wheat and Pea. *Cells*, 10 (1), 149.
- Toleikiene, M., Slepetyš, J., Sarunaite, L., Lazauskas, S., Deveikyte, I., & Kadziulienė, Z. (2021). Soybean Development and Productivity in Response to Organic Management above the Northern Boundary of Soybean Distribution in Europe. *Agronomy*, 11 (2), 214.
- Vasilevski, G. (2003). Perspectives of the application of biophysical methods in sustainable agriculture. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* (Special Issue), 179-186.
- Young, V.R. (1991). Soy protein in relation to human protein and amino acid nutrition. *Journal of the American Dietetic Association*, 91, 828-835.

Priljeno: 19. avgusta 2021.
Odobreno: 24. novembra 2021.

EFFECT OF SEED TREATMENT BY LOW-FREQUENCY
ELECTROMAGNETIC FIELD ON SOYBEAN PRODUCTIVITY

**Marija D. Bajagić^{1*}, Vojin H. Đukić², Vojin D. Cvijanović³,
Miroslav R. Nedeljković¹, Gordana K. Dozet⁴,
Vesna I. Stepić⁴ and Gorica T. Cvijanović⁵**

¹University Bijeljina, Faculty of Agriculture, Bijeljina, Republic of Srpska, BiH

²Institute of Field and Vegetable Crops, Novi Sad, Serbia

³Institute for Science Application in Agriculture, Serbia

⁴Megatrend University, Faculty of Biofarming, Backa Topola, Serbia

⁵University of Kragujevac, Institute of Information Technology,
Kragujevac, Serbia

A b s t r a c t

The development of science and technology introduces new approaches in plant breeding and various methods to increase plant productivity. One of the latest methods is the implementation of an environmentally friendly technique of using a pulsed low-frequency electromagnetic field (PEMP). The paper presents the results of the influence of the electromagnetic stimulation of soybean seeds on grain weight per plant, weight of 1,000 grains and grain yield in different agroecological conditions. In the three-year research, in the period from 2013 to 2015, the soybean variety Valjevka was used, grown with different amounts of fertilizers (control – without fertilization, 750 kg/ha and 1300 kg/ha). Before sowing, the seed was subjected to PEMP stimulation in variants: control – without stimulation and alternating magnetic field stimulation (PEMP) with induction of 30 mT and exposure time of 15 minutes. The average grain weight per plant during seed stimulation was 11.53% (12.09) higher than without PEMP (10.84). The weight of 1,000 grains with PEMP was 155.99 g, which was 2.06% higher than the weight of 1,000 grains of the variant without PEMP (152.83 g). The average soybean grain yield for all three years of research with seed stimulation was 4.85% higher (3,481.25 kg/ha) than without PEMP (3,320.14 kg/ha). Stimulation of seeds with PEMP has economic justification given the growth of soybean prices on the world stock market. The results show that the PEMP treatment of soybean seeds can significantly affect soybean grain yield and counteract side effects such as drought and lack of fertilizers.

Key words: soybeans, pulsed electromagnetic field, weight of 1,000 grains, yield.

Received: August 19, 2021
Accepted: November 24, 2021

*Corresponding author: e-mail: marijacvijanovic@yahoo.com