

ISPITIVANJE FITOSTIMULATORNOG DELOVANJA BAKTERIJSKIH SOJEVA TOKOM GAJENJA ULJANOG LANA I CRNOG KIMA^{a)}

Snežana Dimitrijević^{1*}, Vladimir Filipović¹, Marija Milić²,
Suzana Dimitrijević-Branković², Aneta Buntić³,
Vladan Ugrenović³, Vera Popović⁴

Izvod

U cilju proučavanja uticaja bakterija koje stimulišu rast biljaka, a koje pripadaju rodu *Streptomyces* sp., *Paenibacillus* sp. i *Hymenobacter* sp., na prinos i kvalitet semena uljanog lana i crnog kima, kao i na morfološke karakteristike biljaka, sprovedeni su dvogodišnji terenski eksperimenti. Tretman zemljišta mešanom kulturom bakterija različitih koncentracija je primenjen tokom setve biljaka. Pre početka setve ispitan je uticaj pojedinačnih sojeva na indeks klijavosti semena uljanog lana i crnog kima. Na osnovu rezultata prikazanih u radu, može se uočiti da sojevi, CKS1 – *Paenibacillus chitinolyticus*, CKS3 – *Hymenobacter* sp., CKS7 – *Streptomyces fulvissimus*, u svim ispitivanim koncentracijama, daju vrednosti indeksa klijavosti GI preko 100% kod uljanog lana, dok je kod crnog kima takav efekat pokazao samo soj CKS7. Pozitivno dejstvo bakterijskog preparata kod obe ispitane biljne vrste zabeleženo je merenjem prinosa semena po hektaru tretiranom manjom koncentracijom bakterijskog preparata, u odnosu na odgovarajuće netretirane uzorke (kontrolu). Pozitivna razlika zabeležena je merenjem broja čaura u uzorcima tretiranog uljanog lana i crnog kima u odnosu na netretirani, kao i mase korena obe tretirane biljne vrste. Takođe, najveću ukupnu klijavost u odnosu na kontrolu je ostvarila varijanta uljanog lana L2 u tretmanu manjom koncentracijom bakterija od 98,3±1,4%.

Ključne reči: bakterije koje stimulišu rast biljaka, indeks klijavosti, *Linum usitatissimum* L., *Nigella sativa* L., prinos semena

Uvod

Biofertilizatori predstavljaju jeftin, ekološki prihvatljiv, izvor hraniva za biljke (Borkar, 2015). Višefunkcionalni biofertilizatori mogu biti pripremljeni korišćenjem odabranih sojeva mikroorganizama, čime se zamenjuje upo-

treba značajne količine sintetičkih đubriva u poljoprivredi (Gaind, 2009). Dodatna vrednost đubriva zavisi od karakteristika korišćenih mikrobioloških vrsta, a od posebnog značaja je uključivanje vrsta koje poseduju sposobnost

Originalni naučni rad (Original Scientific Paper)

¹Dimitrijević S, Filipović V, Institut za proučavanje lekovitog bilja „Dr Josif Pančić“, T. Košćuška 1, 11000 Beograd, Srbija

²Milić M, Dimitrijević-Branković S; Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, Karnegijeva 4, 11000 Beograd, Srbija

³Buntić A, Ugrenović V, Institut za zemljište, Teodora Dražera 7, 11000 Beograd, Srbija

⁴Popović V, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Maksima Gorkog 30, 21000 Novi Sad, Srbija
e-mail: sdimitrijevic@mocbilja.rs

^{a)}Rezultati izloženog rada su deo doktorske disertacije: Dimitrijević S (2018): Primena novih sojeva bakterija u proizvodnji komposta i za gajenje uljanih vrsta sa poboljšanim biološkim svojstvima. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko metalurški fakultet.

kontrole biljnih patogena. Bakterije koje stimuliraju rast biljaka povećavaju njihov rast, prinos i imaju potencijal da doprinesu razvoju održivih poljoprivrednih sistema (Dimitrijević, 2018). Pored ove funkcije bakterije se mogu koristiti u zaštiti bilja, naročito u zaštiti bilja u organskoj proizvodnji (Filipović et al., 2020). U biofertilizatore spada velika populacija specifične grupe korisnih mikroorganizama koji se aseptično inkorporiraju u sterilne nosače kao što su treset, lignit ili uglj. Takav materijal se pakuje i prodaje poljoprivrednicima za poboljšanje produktivnosti zemljišta.

U literaturi je zabeleženo da rod *Paenibacillus* podstiče rast biljaka kao što je kukuruz, tikva (Fürnkranz et al., 2012), pirinač (de Souza et al., 2014) i mnoge druge biljne vrste, proizvodeći indol-3-sirćetnu kiselinu (IAA) i druge auksin fitohormone, rastvaranjem nepristupačnog fosfora i vezivanjem atmosferskog azota. Pored toga, *Paenibacillus* pomaže u kontroli fitopatogena izazivanjem indukovane sistemske rezistencije (ISR) i/ili proizvodnjom različitih biocidnih supstanci. Takođe je, u istraživanjima Dimitrijević et al. (2017), pronađeno da bakterijski sojevi *Paenybacillus chitinolyticus* CKS1, *Hymenobacter* sp. CKS3, *Streptomyces fulvissimus* CKS7, korišćeni u gajenju uljanog lana, imaju pozitivan uticaj na sastav esencijalnih masnih kiselina i povećavaju vrednosti α -linolenske kiseline ω -3 (ALA) u masnom ulju semena, dok tokom gajenja crnog kima povećavaju vrednosti esencijalnih masnih kiselina, naročito linolne C18:2 u masnom ulju semena.

Uljani lan (*Linum usitatissimum* L.) je jednogodišnja biljka iz familije Linaceae. Latinski naziv ima značenje „vrlo korisno“. Seme je pljosnato, glatko i žućkaste boje. Ima veliku hranljivu, energetsku i vitaminsku vrednost (Popović et al., 2019). Zahvaljujući svom sastavu laneno seme zadovoljava osnovne potrebe u ljudskoj ishrani i održavanju zdravlja, jer daje ulje bogato omega-3 masnim kiselinama, proteinima, ligninima i ugljenim hidratima i značajan je izvor fenolnih jedinjenja (Oomah, 2001; Pengilly, 2003). Od svih masnih kiselina u semenu lana 53% čini α -linolenska kiselina ω -3 (ALA), 17% je linolna kiselina, ω -6 (LA), 19% oleinska

kiselina, 3% stearinska kiselina i 5% palmitinska (Simopoulos, 2002). Ishrana sa lanenim uljem može pomoći u sprečavanju mnogih bolesti kao što su hronične, kardiovaskularne i maligne. Koristi se za lečenje određenih infekcija, ulkusa, migrene, poremećaja pažnje (Harper et al., 2006). Laneno ulje može smanjiti ukupni LDL-holesterol i povišenu glukozu u krvi i smanjiti rizik od koronarnih srčanih bolesti i moždanog udara (Dimitrijević, 2018).

Crni kim (*Nigella sativa* L.) je takođe jednogodišnja zeljasta biljka koja pripada familiji Ranunculaceae. Ova biljna vrsta vodi poreklo iz predela istočnog Mediterana. U spontanjoj flori crni kim raste od prostora Grčke do Irana tako da i gajene forme u takvim agroekološkim uslovima daju seme najboljeg hemijskog sastava. I u našim agroekološkim uslovima se može gajiti sa visokim kvalitetom proizvedenog semena (Filipović i sar., 2016). Odluku je ga kratak vegetacioni period, mala biljna masa, pogodni semenski parametri kvaliteta. *N. sativa* ima crno seme, hrapave površine i blago aromatičnog mirisa. Na prinos i kvalitet pri gajenju semena crnog kima značajno utiču pojedine agrotehničke mere, prvenstveno vreme i gustina setve (Abdolrahimi et al., 2012; Koli, 2013). Ova biljka predstavlja jednu od najstarijih fitoterapeutskih biljaka. Nađeno je da je korišćena još u Starom Egiptu za poboljšanje varenja, protiv prehlada, glavobolja, infekcija i zubobolja. Seme i ulje crnog kima smatraju se prirodnim antibiotikom i na Bliskom istoku to je tradicionalno gajena vrsta (Filipović i sar., 2017). Na istoku se koristi za lečenje alergija, bronhitisa, astme i hroničnog kašlja, neurodermatitisa, menstrualnih tegoba, depresija i želudačnih tegoba, reumatizma, groznice, gripa i ekcema (Burits and Bucar, 2000). Seme crnog kima sadrži žućkasto masno ulje koje je bogato proteinima, aminokiselinama, nezasićenim masnim kiselinama (uglavnom linolna kiselina 50-60% i oleinska kiselina 20%), zasićenim masnim kiselinama (palmitinska i stearinska, oko 30%), vitaminima, taninima, alkaloidima, saponinima i mineralima (Ramadan, 2007; Dimitrijević, 2018).

Materijal i metode

Priprema sojeva za ispitivanje uticaja na gajenje uljanog lana i crnog kima

U ispitivanjima su korišćeni sledeći izolati, koji predstavljaju deo kolekcije mikroorganizama mikrobiološke laboratorije Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu: *Paenibacillus chitinolyticus* CKS1, *Hymenobacter* sp. CKS3, *Streptomyces fulvissimus* CKS7, *Bacillus altitudinis* PPT1 i *Bacillus amiloliquefaciens* PPM3.

Kulture su pripremljene u ISP1 bujonu do dostizanja titra 10^6 - 10^7 CFU mL⁻¹. Tečne kulture su pomešane u odnosima jednake zapremine u ISP medijumu i dobijena mešana populacija korišćena je za inokulaciju zemljišta u različitoj koncentraciji (1 mL L⁻¹ i 7 mL L⁻¹ po 1 m² zemljišta) za gajenje *L. usitatissimum* i *N. sativa*.

Ispitivanje uticaja sojeva na indeks klijanja GI semena uljanog lana i crnog kima

Test za ispitivanje klijavosti je korišćen za određivanje uticaja sojeva bakterija na indeks klijavosti semena. U cilju odabira sojeva za eksperimente u polju i ispitivanje fitostimulacionog delovanja bakterija na uljane kulture, prvo je ispitan uticaj primene različitih koncentracija bakterijskih sojeva (PPT1 – *Bacillus altitudinis*, CKS1 – *Paenibacillus chitinolyticus*, CKS3 – *Hymenobacter* sp., CKS7 – *Streptomyces fulvissimus*, PPM3 – *Bacillus amiloliquefaciens* ssp. *plantarum*) na indeks klijavosti (GI) semena uljanog lana i crnog kima. Opseg koncentracija se kretao od 0,5 mL L⁻¹ do 3 mL L⁻¹ inokuluma pojedinačnih bakterija. Korišćeno je 5 mL razblaženih tečnih kultura (razblaženje koncentracije 1 mL pune kulture u 1 L destilovane vode), za vlaženje sterilizovanog filter papira (Whatman No.1) u staklenoj petri posudi. Za kontrolu je korišćeno 5 mL destilovane vode. Indeks klijanja (GI) izračunat je korišćenjem 25 semena *L. usitatissimum* i *N. sativa* u tri ponavljanja. Tretman semena je obavljen u mraku, u trajanju od 72 sata na konstantnoj temperaturi od 25°C. Posle tog vremena je izmerena dužina korena i broj iskljalih semena. Indeks klijanja (GI) je izračunat korišćenjem poznate jednačine:

$$GI (\%) = 100 \times G/Gc \times L/Lc$$

gde su G i L klijavost i dužina korena uzorka ispitanih semena tretiranih bakterijskim inokulumom, dok su Gc i Lc klijavost i dužina korena semena tretiranih destilovanom vodom (kontrola) (Rashad et al., 2010; Dimitrijević, 2018).

Biljni materijal

U istraživanju su korišćena semena sledećih biljnih vrsta: uljani lan (*Linum usitatissimum* L. var. vulgare Boen.) i crni kim (*Nigella sativa* L.), koja se gaje i umnožavaju na parcelama u Institutu za proučavanje lekovitog bilja „Dr Josif Pančić“ iz Beograda, koje se nalaze u Pančevu, Vojvodina, Republika Srbija (44° 52'20" N, 20° 42'06" E, 74 m nadmorske visine).

Poljski ogled

Ogled je postavljen po slučajnom blok sistemu u tri ponavljanja. Svaka parcela se sastojala od 4 reda, sa 50 cm međurednog rastojanja i 5 m dužine (površina za uzorke biljnog materijala, iznosila je 2,5 m² – dva srednja reda). U obe godine istraživanja (2015. i 2016.) ogled je zasnovan sredinom aprila, a biljke su dostigle tehnološku zrelost početkom avgusta. Setva je u dve godine istraživanja obavljana ručno na dubini od 1 cm. Pre i posle setve, zemljište je tretirano bakterijskim inokulumom. Dobijeni i obrađeni uzorci su obeleženi na sledeći način: (N1, *N. sativa* – kontrola; N2, *N. sativa* sa bakterijskim inokulumom koncentracije 1 mL L⁻¹; N3, *N. sativa* sa bakterijskim inokulumom koncentracije 7 mL L⁻¹; L1, *L. usitatissimum* – kontrola; L2, *L. usitatissimum* sa bakterijskim inokulumom koncentracije 1 mL L⁻¹; L3, *L. usitatissimum* sa bakterijskim inokulumom koncentracije 7 mL L⁻¹). U toku vegetacije nisu korišćena sintetička sredstva kako za ishranu tako i za zaštitu bilja, a korovi su kontrolisani ručno.

Biljni materijal je sakupljen i uzorkovan

nakon završetka vegetacionog perioda sredinom avgusta tokom dvogodišnjeg eksperimenta. Kako bi se odredile pojedine morfološke osobine, uzimano je po deset biljaka iz središnjih redova sa svake parcelice. Merena je visina biljaka (cm), broj čaura, masa cele biljke (g), masa korena (g) i dužina korena (cm). Prinos semena po hektaru (kg ha^{-1}) dobijen je odgovarajućim preračunavanjem prinosa sa elementarnih parcelica i vlažnosti semena (Filipović et al., 2014; Dimitrijević, 2018). Berba semena obe ispitivane vrste je obavljena u fazi tehnološke zrelosti semena u ranim jutarnjim časovima, u cilju što manjeg rastura semena.

Energija klijanja i ukupna klijavost semena

Istraživanja su sprovedena u laboratoriji za semenarstvo Instituta za proučavanje lekovitog bilja "Dr Josif Pančić" u Pančevu, a prema Pravilniku o kvalitetu semena poljoprivrednog bilja (Anonymous, 2013). Ispitivane su energija

klijanja (EK) i ukupna klijavost (UK) u Petri – posudama na filter papiru na konstantnoj temperaturi od 20°C , uz osvetljenje 12/12 časova naizmenično. Ispitivanje je rađeno za svaku varijantu u tri ponavljanja, sa po 100 semena u ponavljanju. Za seme uljanog lana energija klijanja (EK) utvrđena je nakon 3 dana, a ukupna klijavost (UK) nakon 7 dana, dok je kod semena crnog kima EK utvrđena nakon 7 dana, a UK nakon 21 dan.

Statistička analiza

Svi ogledi su izvedeni u tri ponavljanja, nakon čega su rezultati izraženi kao srednja vrednost \pm standardna devijacija. Podaci su statistički analizirani putem „one way“ analize varijanse (ANOVA), uz Tukey test višestrukog poređenja, korišćenjem paketa Origin Pro 9.0 (Microcal Software Inc., Northampton, MA, USA). Razlike su smatrane statistički značajnim pri vrednosti $p < 0,05$.

Rezultati i diskusija

Izbor sojeva za ispitivanje fitostimulatornog efekta putem određivanja indeksa klijavosti semena (GI) uljanog lana i crnog kima

Ispitivanje fitostimulatornog delovanja odabranih sojeva na indeks klijavosti (GI) semena uljanog lana i crnog kima prikazano je u tabelama 1 i 2. Prema Rashad et al. (2010), efekat biofertilizacije je evidentan kod onih bakterijskih sojeva koji daju GI vrednosti iznad 100%. Na osnovu prikazanih rezultata,

može se uočiti da sojevi CKS1, CKS3 i CKS7, u svim koncentracijama daju vrednosti GI preko 100% za lan, dok je kod crnog kima, takav efekat pokazao samo soj CKS7. Soj PPM3 je pokazao blagi efekat inhibicije klijavosti u svim koncentracijama kod crnog kima, a sa povećanjem koncentracije i kod lana. Soj PPT1 je dao dobre rezultate klijavosti u nižim koncentracijama, ali je znatno inhibirao klijavost i lana i crnog kima pri koncentraciji inokuluma od 3 mL L^{-1} .

Tabela 1. Promena indeksa klijavosti (GI, %) za seme *N. sativa* pri različitim koncentracijama bakterijskih sojeva
Table 1. Change in germination index (GI, %) for *N. sativa* seeds at different concentrations of bacterial strains

Konc. (mL L^{-1})	Bakterijski soj				
	PPT1	CKS1	PPM3	CKS3	CKS7
0,5	108,60 \pm 1,5 ^a	111,40 \pm 2,8 ^a	62,55 \pm 1,8 ^b	112,20 \pm 1,3 ^a	119,10 \pm 0,9 ^a
1,0	102,70 \pm 1,6 ^b	104,20 \pm 1,4 ^b	83,84 \pm 0,6 ^a	105,30 \pm 0,7 ^b	105,50 \pm 0,7 ^c
1,2	100,30 \pm 2,0 ^b	92,67 \pm 2,4 ^c	51,66 \pm 0,7 ^c	94,28 \pm 1,0 ^c	110,30 \pm 1,1 ^b
3,0	91,70 \pm 1,7 ^c	86,55 \pm 1,5 ^c	62,83 \pm 0,8 ^b	72,80 \pm 2,4 ^d	113,10 \pm 1,9 ^b

PPT1 – *Bacillus altitudinis*; CKS1 – *Paenybacillus chitinolyticus*; CKS3 – *Hymenobacter* sp.; CKS7 – *Streptomyces fulvissimus*; PPM3 – *Bacillus amiloliquefaciens* ssp. *Plantarum*; Statistički značajna razlika u datoj koloni označena je različitim slovima ($p < 0,05$)

Tabela 2. Promena indeksa klijavosti (GI, %) za seme *L. usitatissimum* pri različitim koncentracijama bakterijskih sojevaTable 2. Change in germination index (GI, %) for *L. usitatissimum* seeds at different concentrations of bacterial strains

Konc. (mL L ⁻¹)	Bakterijski soj				
	PPT1	CKS1	PPM3	CKS3	CKS7
0,5	104,70±2,2 ^a	124,10±2,9 ^a	102,60±2,0 ^a	108,30±3,1 ^a	101,50±4,2 ^b
1,0	101,70±1,8 ^a	101,40±1,4 ^c	89,24±3,8 ^b	102,40±2,0 ^b	106,80±1,0 ^a
1,2	104,10±1,3 ^a	104,60±2,3 ^{b,c}	76,74±0,7 ^c	102,50±1,0 ^b	108,00±1,8 ^a
3,0	65,45±2,8 ^b	109,80±1,8 ^b	61,57±3,3 ^d	103,70±2,6 ^b	109,30±1,0 ^a

PPT1 – *Bacillus altitudinis*; CKS1 – *Paenibacillus chitinolyticus*; CKS3 – *Hymenobacter* sp.; CKS7 – *Streptomyces fulvissimus*; PPM3 – *Bacillus amiloliquefaciens* ssp. *Plantarum*; Statistički značajna razlika u datoj koloni označena je različitim slovima (p<0.05).

Imajući u vidu prikazane rezultate uticaja bakterijskih sojeva na indeks klijavosti uljanog lana i crnog kima, za dalja istraživanja su odabrana tri soja: CKS1 – *Paenibacillus chitinolyticus*, CKS3 – *Hymenobacter* sp. i CKS7 – *Streptomyces fulvissimus* (Dimitrijević, 2018). Pri tom, svi testirani izabrani sojevi su mezofilni, proizvode celulolitičke enzime i pokazuju veliki enzimski potencijal. Tečne kulture sva tri soja su pomešane u odnosima jednake zapremine i korišćene za inokulaciju zemljišta u različitim koncentracijama (1 mL L⁻¹ i 7 mL L⁻¹ po 1 m² zemljišta) pri gajenju *L. usitatissimum* i *N. sativa*.

Agronomski parametri gajenja uljanog lana i crnog kima pri tretmanu bakterijskim inokulumom

Biljni materijal je uzorkovan nakon završetka vegetacije u toku dve godine istraživanja. Osnovna ili elementarna parcela poslužila je istovremeno i kao obračunska. U Tabeli 3 su prikazani prinosi, morfološki i semenski parametri kvaliteta semena uljanog lana i crnog kima.

Pozitivan uticaj primene bakterijskog preparata na visinu biljaka bio je u proseku primetan kod crnog kima, dok je u usevu uljanog lana L1 – kontrola u proseku imala nešto veće

Tabela 3. Promene morfoloških karakteristika, prinosa i parametara kvaliteta tretiranih uzoraka semena *L. usitatissimum* i *N. sativa* u odnosu na kontrole, izražene u procentimaTable 3. Relations in morphological characteristics, yields and quality parameters of treated *L. usitatissimum* and *N. sativa* seed samples concerning control samples, expressed in percentages

Odnos (%)	Visina biljke	Broj čaura	Sveža masa	Masa korena	Dužina korena	Prinos semena (kg ha ⁻¹)	Energija klijanja	Ukupna klijavost
L2/L1	-2,24	+12,55	+5,13	+17,23	-2,67	+7,43	+12,23	+9,22
L3/L1	-1,50	+14,02	+12,82	+22,47	+4,00	-15,36	+5,31	+2,22
N2/N1	+7,92	+16,31	+9,21	+39,29	-1,23	+16,41	-1,35	0,00
N3/N1	+5,67	+29,87	+9,21	+57,14	-2,47	+8,03	-2,08	-1,77

L1 – *L. usitatissimum* kontrola; L2 – *L. Usitatissimum* sa bakterijskim inokulumom 1 mL L⁻¹; L3 – *L. Usitatissimum* sa bakterijskim inokulumom 7 mL L⁻¹; N1 – *N. sativa* kontrola; N2 – *N. sativa* sa bakterijskim inokulumom 1 mL L⁻¹; N3 – *N. sativa* sa bakterijskim inokulumom 7 mL L⁻¹.

vrednosti visine u odnosu na varijante L2 i L3. U istraživanjima Grady et al. (2016) je potvrđeno da soj *S. fulvissimus* Act1433 kao i neki *Paenibacillus* sp. pokazuju stimulaciju rasta biljaka putem biološke fiksacije azota, fosfatne solubilizacije, proizvodnje fitohormona indol-3-sirćetne kiseline (IAA) i oslobađanjem siderofora koji omogućavaju apsorpciju gvožđa. Pozitivno dejstvo bakterijskog preparata, u odnosu na kontrolne uzorke, zabeleženo je kod broja čaura uljanog lana i crnog kima, a sličan trend uočen je i u slučaju cele sveže biljne mase. Ostvareni rezultati bili su u skladu sa prethodno realizovanim istraživanjima (Pospišil et al., 2011; Rahimi et al., 2011; Zajac et al., 2012; Dimitrijević, 2018).

Masa korena crnog kima imala je interval od najmanje vrednosti u kontroli, od 0,168 g (N1) do 0,264 g (N3) u uzorku sa većom koncentracijom bakterija, dok je masa korena uljanog lana imala istu tendenciju od najmanjih vrednosti u kontroli, od 0,267 g (L1) do 0,327 g (L3) u uzorku sa većom koncentracijom bakterija. Najduži koren je formiran u kontrolnim varijantama crnog kima, što je u saglasnosti sa istraživanjima Abdel-Aziez et al. (2014), dok je nešto drugačiji odnos zabeležen sa dužinom

korena uljanog lana, gde je primena veće koncentracije preparata doprinela formiranju najdužeg korena. Na siromašnijim i zemljištima lošije strukture, koren uljanog lana ima tendenciju bržeg i dubljeg rasta radi boljeg ukorenjavanja i ishrane, u odnosu na koren koji se razvija na plodnim i strukturnim zemljištima.

Na formiranje visoke produkcije semena kao najbolja se pokazala varijanta N2, odnosno L2 gde je zemljište tretirano sa 1 mL L⁻¹ bakterijskog inokuluma. Kod crnog kima ostvarena je razlika između najvišeg N2 i najmanjeg kontrolnog N1 od 16,4%. U slučaju prinosa semena po hektaru uljanog lana, razlika između najvišeg L2 i kontrolnog uzorka L1 je 7,4%, dok je odnos između tretiranih varijanti L2 i L3 iznosio 26,9%.

Kod tretiranih uzoraka uljanog lana je uočljivo povećanje vrednosti ukupne klijavosti i energije klijanja u odnosu na netretirane uzorke, pri čemu je najveću klijavost ostvarila varijanta L2, dok je kod uzoraka crnog kima zabeležen negativan trend tretiranih u odnosu na netretirane uzorke. Ipak, imajući u vidu sve ispitivane varijante, utvrđene vrednosti ukupne klijavosti bile su veće od 90%.

Zaključak

Odabrane mešane mikrobiološke kulture se mogu upotrebljavati za tretman tokom inokulacije zemljišta pri gajenju uljanih vrsta uljanog lana i crnog kima. Primena različitih koncentracija izabranih sojeva *Streptomyces*, *Paenibacillus* i *Himenobacter* se ogleda u poboljšanju morfoloških karakteristika, prinosa i kvaliteta semena ovih biljnih vrsta kroz povećan prinos semena po hektaru i povećanu energiju klijanja

i ukupnu klijavost proizvedenog semena uljanog lana i crnog kima. Prednost u izboru koncentracije bakterijskog preparata se daje manjoj koncentraciji od 1 mL L⁻¹ mešane kulture bakterija koju čine sojevi CKS1 – *Paenibacillus chitinolyticus*, CKS3 – *Hymenobacter* sp., CKS7 – *Streptomyces fulvissimus*, pri gajenju obe uljane biljne vrste.

Zahvalnica

Rad predstavlja deo rezultata istraživanja u okviru ugovora 451-03-68/2022-14 /200003, 200011 i 200032, finansiranih od strane Mini-

starstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

- Abdolrahimi B, Mehdikhani P, Tappe, AHG (2012): The effect of harvest index, yield and yield components of three varieties of black seed (*Nigella sativa*) in different planting densities. *International Journal of Agricultural Sciences*, 2: 93-10.
- Abdel-Aziez SM, Eweda WE, Girgis MGZ, Abdel Ghany BF (2014): Improving the productivity and quality of black cumin (*N. sativa*) by using *Azotobacter* as N₂ bio-fertilizer. *Annals of Agricultural Sciences*, 59(1): 95-108.
- Anonymous (2013): Pravilnik o kvalitetu semena poljoprivrednog bilja ("Sl. list SFRJ", br. 47/87, 60/87, 55/88 i 81/89, "Sl. list SRJ", br. 16/92, 8/93, 21/93, 30/94, 43/96, 10/98, 15/2001 i 58/2002 i "Sl. glasnik RS", br. 23/2009, 64/2010, 72/2010 i 34/2013).
- Burits M, Bucar F (2000): Antioxidant activity of *Nigella sativa* essential oil. *Phytotherapy Research*, 14: 323-328.
- Borkar SG (2015): Microbes as bio-fertilizers and their production technology. Woodhead Publishing India Pvt, Ltd.
- de Souza R, Meyer J, Schoenfeld R, da Costa PB, Passaglia LMP (2014): Characterization of plant growth-promoting bacteria associated with rice cropped in iron-stressed soils. *Annals of microbiology*, 65(2): 951-964.
- Dimitrijević S (2018): Primena novih sojeva bakterija u proizvodnji komposta i za gajenje uljanih vrsta sa poboljšanim biološkim svojstvima. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko metalurški fakultet.
- Dimitrijević S, Pavlović M, Maksimović S, Ristić M, Filipović V, Antonović D, Dimitrijević-Branković S (2017): Plant growth promoting bacteria elevate the nutritional and functional properties of Black cumin and Flaxseed fixed oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(4): 1584-1590.
- Filipović V, Popović V, Glamočlija Đ, Jaramaz M, Jaramaz D, Anđelović S, Tabaković M (2014): Genotype and soil type Influence on morphological characteristics, yield and oil content oil-flax. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20(1): 89-96.
- Filipović V, Ugrenović V, Radanović D, Marković T, Popović V, Đorđević S, Dimitrijević S (2016): Agrotehnička istraživanja standardizacije tehnologije proizvodnje semena crnog kima (*Nigella sativa* L.). *Leikovite sirovine*, Beograd, (36): 47 – 60.
- Filipović V, Ugrenović V, Popović V, Radanović D, Đorđević S, Marković T, Dimitrijević S, Terzić D (2017): Tehnologija proizvodnje semena crnog kima (*Nigella sativa* L.) u Republici Srbiji, za primenu u farmaceutskoj i prehrambenoj industriji. Institut za proučavanje lekovitog bilja „Dr Josif Pančić“, Beograd. Projekat III 46006 pod nazivom: „Održiva poljoprivreda i ruralni razvoj u funkciji ostvarivanja strateških ciljeva Republike Srbije u okviru Dunavskog regiona“. Novo tehničko rešenje primenjeno na nacionalnom nivou (M82): 1-19.
- Filipović V, Ugrenović V, Jevremović S, Dimitrijević S, Pavlović M, Popović V, Dimitrijević S (2020): Biokontrola ekonomski značajnih bolesti u cilju povećanja prinosa semena nevena i odoljena i krtola krompira. *Selekcija i semenarstvo*, 26(1): 38-51.
- Fürnkranz M, Adam E, Müller H, Grube M, Huss H, Winkler J, Berg G (2012): Promotion of growth, health and stress tolerance of Styrian oil pumpkins by bacterial endophytes. *European Journal of Plant Pathology*, 134(3): 509-519.
- Gaind S, Nain L, Patel VB (2009): Quality evaluation of co-composted wheat straw, poultry droppings and oil seed cakes. *Biodegradation*, 20: 307-317.
- Grady EN, MacDonald J, Liu L, Richman A, Yuan ZC (2016): Current knowledge and perspectives of *Paenibacillus*: a review. *Microbial Cell Factories*, 15(1): 1-18.
- Harper CR, Edwards MJ, DeFilipis AP, Jacobson TA (2006): Flaxseed oil increases the plasma concentrations of cardioprotective (n-3) fatty acids in humans. *The Journal of nutrition*, 136(1): 83-87.
- Koli SA (2013): Effect of variety and plant spa-

- cing on seed yield and yield attributes of black cumin (*Nigella sativa* L.). Doctoral dissertation, Department of Agricultural Botany, Sher-e-Bangla Agricultural University, Dhaka.
- Oomah DB (2001): Flaxseed as a functional food source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9): 889-894.
- Pengilly NL (2003): Traditional food and medicinal uses of flaxseed. In *Flax*, pp. 264-279. CRC Press.
- Popović V, Marjanović JA, Jovović Z, Janković S, Filipović V, Ugrenović V, Kolarić Lj, Šarčević-Todosijević Lj (2019): Linseed (*Linum usitatissimum* L.) Production Trends in the World and in Serbia. In: *Monograph. Serbia: Current Issues and Challenges in the Areas of Natural Resources, Agriculture and Environment*. Editor: Igor Janev. (pp. 123-148). Publishers: Nova Science Publishers, Inc., NY, USA. ISBN: 978-1-53614-897-8, <https://novapublishers.com/shop/serbia-current-issues-and-challenges-in-the-areas-of-natural-resources-agriculture-and-environment/>
- Pospišil M, Pospišil A, Butorac J, Škevin D, Kraljić K, Obranović M, Brčić M (2011): Yield and yield components of investigated linseed cultivar in Northwest Croatia. In *46th Croatian and 6th International Symposium on Agriculture, Opatija, Croatia, 14-18 February 2011*. Proceedings, pp. 728-731. University of Zagreb Faculty of Agriculture.
- Rahimi M, Zarei MA, Arminian A (2011): Selection criteria of flax (*L. usitatissimum* L.) for seed yield, yield components and biochemical compositions under various planting dates and nitrogen. *African Journal of Agricultural Research*, 6(13): 3167-3175.
- Ramadan MF (2007): Nutritional value, functional properties and nutraceutical applications of black cumin (*Nigella sativa* L.): an overview. *International Journal of Food Science and Technology*, 42: 1208-1218.
- Rashad FM, Saleh WD, Moselhy MA (2010): Bioconversion of rice straw and certain agro-industrial wastes to amendments for organic farming systems: 1. Composting, quality, stability and maturity indices. *Bioresource Technology*, 101(15): 5952-5960.
- Simopoulos AP (2002): The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 56(8): 365-379.
- Zajac TOA, Klimek-Kopyra A, Kulig B (2012): Biological determinants of plant and crop productivity of flax (*L. usitatissimum* L.). *Acta Agrobotanica*, 65(4): 3-14.

PHYTOSTIMULATORY EFFECT OF BACTERIAL STRAINS ON OILED FLAX AND BLACK CUMIN CULTIVATION

Snežana Dimitrijević, Vladimir Filipović, Marija Milić,
Suzana Dimitrijević-Branković, Aneta Buntić,
Vladan Ugrenović, Vera Popović

Summary

In order to examine the influence of plant growth stimulating bacteria, which belong to the genus *Streptomyces* sp., *Paenibacillus* sp. and *Hymenibacter* sp., on the yield and seed quality of linseed and black cumin, as well as on the morphological characteristics of these plants, a two-year field experiments were conducted. Soil treatment with a mixed culture of bacteria of different concentrations was applied during the sowing of plants. Before sowing, the influence of individual strains on the germination index of linseed and black cumin was examined. Based on the results presented in the paper, the strains CKS1 - *Paenybacillus chitinolyticus*, CKS3 - *Hymenobacter* sp., and CKS7 - *Streptomyces fulvissimus*, gave germination index values GI over 100% in linseed, within all tested concentrations, while in black cumin, such an effect was shown only by strain CKS7. The positive effect of the bacterial preparation in both examined plant species was recorded by measuring the yield of seeds per hectare treated with a lower concentration of the bacterial preparation compared to the corresponding untreated samples (control sample). A significant difference was recorded by measuring the number of cocoons in samples of treated linseed compared to untreated ones, as well as the mass of roots of both treated plant species. Also, the highest overall germination compared to the control was achieved by the linseed variant L2 in the treatment with a lower concentration of bacteria of $98.3 \pm 1.4\%$.

Key words: germination index, *Linum usitatissimum* L., *Nigella sativa* L., plant growth promoting bacteria, seed yield

Primljen: 9.09.2022.
Prihvaćen: 14.10.2022.