

Varijabilnost fenotipske ekspresije svojstava kvalitete zrna elitnih linija soje

Variability in phenotypic expression of seed quality traits in soybean germplasm

Matoša Kočar, M., Sudarić, A., Vila, S., Petrović, S., Rebekić, A., Josipović, A., Markulj Kulundžić, A.

Poljoprivreda/Agriculture

ISSN: 1848-8080 (Online)

ISSN: 1330-7142 (Print)

<http://dx.doi.org/10.18047/poljo.23.1.7>



Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Poljoprivredni institut Osijek

Faculty of Agriculture in Osijek, Agricultural Institute Osijek

VARIJABILNOST FENOTIPSE EKSPRESIJE SVOJSTAVA KVALITETE ZRNA ELITNIH LINIJA SOJE

Matoša Kočar, M.⁽¹⁾, Sudarić, A.⁽¹⁾, Vila, S.⁽²⁾, Petrović, S.⁽²⁾, Rebekić, A.⁽²⁾, Josipović, A.⁽¹⁾, Markulj Kulundžić, A.⁽¹⁾

Izvorni znanstveni članak
Original scientific paper

SAŽETAK

Cilj je ovog istraživanja bio procijeniti genetsku varijabilnost odabranih linija soje u svojstvima kvalitete zrna utvrđivanjem raznolikosti fenotipske ekspresije za masu 1000 zrna te koncentraciju bjelančevina i ulja u zrnu. Tijekom tri vegetacijske sezone (2010.-2012.), na Poljoprivrednom institutu Osijek postavljen je poljski pokus s 22 linije soje, u 2 ponavljanja po slučajnome bloknome rasporedu. Svake godine pokusa nakon žetve određena je masa 1000 zrna, koncentracija bjelančevina i koncentracija ulja u zrnu soje, a statistička obrada rezultata tih analiza uključivala je izračun standardnih mjera varijacije i analizu varijance. Nakon završene analize podataka, utvrđena je raznolikost istraživanoga biljnoga materijala u fenotipskoj ekspresiji svojstava kvalitete zrna, odnosno potvrđeno je postojanje genetske varijabilnosti uz statistički značajan utjecaj genotipa i godine.

Ključne riječi: soja, masa 1000 zrna, bjelančevine, ulje, varijabilnost, oplemenjivanje

UVOD

Soja (*Glycine max* L. Merr.) je danas jedna od vodećih uljnih i bjelančevinastih kultura u svijetu (FAOSTAT, 2016.), prepoznata kao visokokvalitetan izvor ljudske i stočne hrane, značajan izvor zdravstveno korisnih tvari te važna sirovina za prerađivačku industriju (Vratarić i Sudarić, 2008.). Značaj soje proizlazi najviše iz kvalitete, odnosno kemijskoga sastava njenoga zrna, a neprekidnim se znanstvenim i tehnološkim razvojem potvrđuje njegova vrijednost i povećava raznovrsnost uporabe. U periodu od 20 godina (1995.-2014.), ukupna se proizvodnja soje u svijetu povećavala prosječnom godišnjom stopom rasta od 4,28% pa je, u odnosu na nešto više od 127 milijuna tona, koliko je proizvedeno 1995. godine, 2014. godine proizvedeno ukupno preko 308 milijuna tona (FAOSTAT, 2016.). Površine pod sojom u tome su

se periodu također povećavale, ali prosječnom godišnjom stopom rasta od 3,30%, dok je prosječan godišnji porast prinosa zrna bio tek 0,95% (FAOSTAT, 2016.). Ti trendovi ukazuju da, iako je soja kultura uske genetske osnove (Gizlice i sur., 1994.), kontinuiran napredak u povećanju prinosa i poboljšanju značajnih agronomskih svojstava ipak postoji (Wilcox, 2001.; Malcom i sur., 2002.), odnosno da i uska genetska osnova posjeduje značajnu genetsku varijabilnost (Brown-Guedira i sur., 2000.).

(1) Dr. sc. Maja Matoša Kočar (maja.matos@poljinis.hr), dr. sc. Aleksandra Sudarić, Ana Josipović, mag. ing. agr., Antonela Markulj Kulundžić, mag. ing. agr. – Poljoprivredni institut Osijek, Južno predgrađe 17, 31000 Osijek, (2) Prof. dr. sc. Sonja Vila, izv. prof. dr. sc. Sonja Petrović, doc. dr. sc. Andrijana Rebekić – Poljoprivredni fakultet u Osijeku, V. Preloga 1, 31000 Osijek

Zbog velikoga potencijala soje kao sirovine, a prateći zahtjeve tržišta, uz povećanje prinosa zrna kao primarnoga cilja svih oplemenjivačkih programa, na globalnoj razini intenzivan je i oplemenjivački rad na poboljšanju genetske osnove za kvalitetu zrna (Fehr i Curtiss, 2004.). Neka od najznačajnijih svojstava kvalitete zrna soje su koncentracija bjelančevina i ulja, a, osim tih parametara, u obzir se pri oplemenjivanju uzima i krupnoća zrna soje izražena kao masa 1000 zrna. Masa 1000 zrna je kvantitativno svojstvo i jedna od komponenata prinosa zrna, a vrijednosti kod komercijalnih sorti variraju u rasponu od 150 g do 200 g (Vratarić i Sudarić, 2008.). Kako genetske komponente varijance u realizaciji mase 1000 zrna imaju veći udio od ostalih komponenti fenotipske varijance, to je svojstvo visoke nasljednosti.

Soja je jedan od najvažnijih izvora biljnih bjelančevina i ulja u svijetu, čije su koncentracije dijelom određene aditivnim djelovanjem gena, a procjene heritabilnosti variraju od srednjih do visokih (Malik i sur., 2006.; Jaureguy i sur., 2011.; Rodrigues i sur., 2014.). Količina bjelančevina u zrnu soje kvantitativno je svojstvo koje se nasljeđuje poligeno, a, ovisno o genotipu i uvjetima uzgoja, varira od 30% do 50% na bazi apsolutno suhe tvari (AST) (Vratarić i Sudarić, 2008.). Bjelančevine zrna soje najbližnje su bjelančevinama životinjskoga porijekla, što im daje visoku biološku vrijednost uz manju cijenu pa je i oplemenjivanje toga svojstva iznimno značajno. Količina ulja također je kvantitativno svojstvo pod utjecajem velikoga broja gena većinom malog učinka. Koncentracija ulja u zrnu soje varira od 12% do 24% na bazi AST (Vratarić i Sudarić, 2008.), a povećanjem koncentracije i kvalitete ulja povećava se i isplativost uzgoja soje kao sirovine za uljare.

Neovisno o svojstvu kojega želimo poboljšati, preduvjet je uspješnog oplemenjivanja utvrditi genetsku varijabilnost svojstava od interesa, koja se očituje u raznolikosti fenotipske ekspresije te odabirati germplazmu s poželjnim razinama istih, što su ujedno bili i ciljevi ovog istraživanja. Za unaprijeđenje agronomskih svojstava neophodno je, prije svega, stvoriti veliku populaciju rekombinantnih elitnih linija, značajne fenotipske varijabilnosti. Sukladno pozitivnoj korelaciji između fenotipske varijabilnosti i genetske raznolikosti (Moose i Mumm, 2008.), stvaranje takve populacije omogućeno je genetskom varijabilnošću roditelja, zbog čega je neophodno poduzeti sve mjere očuvanja raznolikosti, s ciljem poboljšanja željenih svojstava (Grainger i Rajcan, 2014.). Osim napretka u kvaliteti zrna, kontinuirano oplemenjivanje i selekcija soje pružaju i odgovor na pitanje problema smanjenja agronomске vrijednosti, do kojega dolazi zbog prirodnog izrođavanja sorti tijekom vremena. Kontinuirano stvaranje sorti za uzgoj u području gdje su nastale osigurava maksimalnu proizvodnost soje, koja, kao kultura osjetljiva na fotoperiodizam, ima uzak areal rasprostranjenosti.

MATERIJAL I METODE

Istraživanja su provedena na 22 linije soje nastale na Poljoprivrednom institutu Osijek, koje se međusobno razlikuju prema rodoslovlju, morfološkim i kvalitativnim svojstvima. Trogodišnji poljski pokus (2010.-2012.) postavljen je na površinama Poljoprivrednog instituta Osijek po blok metodi sa slučajnim rasporedom varijanti u dva ponavljanja. Prema Hidropedološkoj studiji s idejnim rješenjem navodnjavanja proizvodnih površina Poljoprivrednog instituta Osijek (Romić i sur., 2006.), tip tla na površinama Poljoprivrednog instituta Osijek, na kojima je pokus bio postavljen 2010. i 2012. godine, je humofluvisol černozemni, srednje duboko oglejeni, nekarbonatan, praškasto, glinasto ilovast (pH (KCl) = 6,24; humus = 2,12-3,05%), dok je u drugoj godini istraživanja (2011.) pokus bio postavljen na humofluvisolu, plitko oglejenom, nekarbonatnom, praškasto, glinasto ilovastom, koji se nalazi na najnižim formama reljefa, gdje su površinske vode sporo procjedne (pH (KCl) = 5,20; humus = 2,40 – 2,88 %). Klimatski podatci o srednjim mjesečnim temperaturama zraka i ukupnim mjesečnim količinama oborinama za razdoblje godine u kojem traje vegetacija soje (2010.-2012.) s mjerne stanice Osijek-Klisa te vrijednosti višegodišnjega (1961.-1990.) prosjeka istih parametara dobiveni su od Državnoga hidrometeorološkoga zavoda (DHMZ-a) i prikazani u Tablici 1.

Osnovna obrada tla obavljena je u jesen oranjem na dubinu 30-35 cm, u proljeće se zatvarala zimska brazda te se ravnalo tlo, a neposredno pred sjetvu obavljena je predstjetvena priprema kombiniranim sjetvospremačem. Za gnojidbu se koristilo 300 kg/ha N:P:K 7:20:30 te 100 kg/ha ureje. Sjetva sijaćicom prve je godine (2010.) obavljena 26. travnja, druge godine (2011.) 18. travnja i treće godine (2012.) 13. travnja. Razmak između redova bio je 50 cm, razmak unutar reda 2-3 cm. Dužina parcela bila je 5 m, a ukupno je svake godine posijano 44 parcele, odnosno 440 m². Sjeme je prije sjetve tretirano preparatom koji sadrži kvržične bakterije *Bradyrhizobium japonicum*. Nakon sjetve, površina je tretirana herbicidom s aktivnom tvari S-metolaklor (0,8 l/ha) i herbicidom s aktivnom tvari metribuzin (0,6 kg/ha) u kombinaciji. Tijekom vegetacije obavljena je jedna međuredna kultivacija (odmah nakon faze prve troliske), nakon čega je korov plijevljen ručno, odnosno okopavanjem po potrebi. Žetva je obavljena u vrijeme pune zriobe, a od ukupno požete količine zrna, svake se godine uzimao prosječan uzorak za određivanje koncentracije bjelančevina i ulja (1 kg po parceli) na uređaju Foss Infratec™ 1241 Grain Analyzer (Foss Tecator AB, Švedska). Iz tih su se uzoraka, nakon nedestruktivne analize, prema protokolu, radili pojedinačni radni uzorci za masu 1000 zrna. Masa 1000 zrna utvrđuje se prema Pravilniku o metodama uzorkovanja i ispitivanja kvalitete sjemena (NN 99/08) iz frakcije „čisto sjeme“, a izražava se u gramima.

Tablica 1. Srednje mjesečne temperature zraka (°C) i ukupne oborine (mm) na području Osijeka za vegetacijske godine od 2010., 2011. i 2012. te višegodišnji prosjeci (1961.-1990.)

Table 1. Monthly average air temperatures (°C) and monthly total precipitation (mm) for Osijek area during soybean vegetation for years 2010-2012 and referent multi-year averages (1961-1990)

| Mjesec Month | Srednja mjesečna temperatura zraka u °C Monthly average air temperatures (°C) | | | | Ukupna količina oborina u mm Monthly total precipitation (mm) | | | |
|---------------------|--|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|
| | 1961.-1990. | 2010. | 2011. | 2012. | 1961.-1990. | 2010. | 2011. | 2012. |
| Travanj/ April | 11,3 | 12,4 | 13,6 | 12,7 | 53,8 | 62,7 | 14,1 | 65,6 |
| Svibanj/ May | 16,5 | 16,9 | 17,1 | 17,4 | 58,5 | 124,2 | 91,7 | 102,0 |
| Lipanj/ June | 19,5 | 20,9 | 21,5 | 23,0 | 88,0 | 192,0 | 36,2 | 44,4 |
| srpanj/ July | 21,1 | 24,0 | 22,7 | 25,3 | 64,8 | 68,6 | 58,6 | 32,1 |
| Kolovoz/ August | 20,3 | 22,2 | 23,6 | 24,8 | 58,5 | 41,1 | 1,0 | 6,4 |
| Rujan/ September | 16,6 | 15,8 | 20,5 | 19,2 | 44,8 | 95,7 | 18,3 | 25,5 |
| | Prosjeck za vegetaciju / Vegetation mean | | | | Ukupno za vegetaciju / Vegetation total | | | |
| | 17,6 | 18,7 | 19,8 | 20,4 | 368,4 | 584,3 | 219,9 | 276 |

Nakon sistematizacije podataka po godinama na razini srednje vrijednosti ponavljanja za svaki genotip, od osnovnih statističkih pokazatelja za svako svojstvo utvrđena je srednja vrijednost (X) genotipova za svaku godinu zasebno te u prosjeku za sve tri godine pokusa (2010.-2012.), a isto tako i minimalna vrijednost (min), maksimalna vrijednost (max) te varijanca (σ^2), odnosno standardna devijacija (σ), koje su neophodne za izračunavanje koeficijenta varijacije (CV). Nakon izračunavanja osnovnih mjera varijacije, napravljena je i analiza varijance (ANOVA), a genotipovi i godine međusobno su uspoređeni Fisherovim LSD testom na razini značajnosti $P < 0,05$ i $P < 0,01$ u programu SAS 9.3, pri čemu ponav-

ljanje nije uzeto u obzir, jer nije bilo statistički značajno niti za jedno svojstvo kroz tri godine.

REZULTATI I RASPRAVA

Analizom varijance za mjerenja mase 1000 zrna te koncentracije bjelančevina i ulja utvrđene su statistički visoko značajne razlike ($P < 0,01$) između genotipova i godina, dok ponavljanje nije statistički značajno utjecalo na navedena svojstva (Tablice 2.-4.). Značajnost istih izvora varijacije za istraživanja svojstva potvrđena je u brojnim istraživanjima (Iqbal i sur., 2010.; Popović i sur., 2012.a; Bueno i sur., 2013.; Ghodrati, 2013.; Josipović i sur., 2013.; Rodrigues i sur., 2014.).

Tablica 2. Analiza varijance za masu 1000 zrna (g) linija soje (2010. - 2012.)

Table 2. Analysis of variance for 1000 seed weight (g) of soybean lines (2010-2012)

| Izvor varijabilnosti/ Source of variation | Masa 1000 zrna (g)/ 1000 seed weight (g) | | | |
|--|--|----------------------------------|---------|--------|
| | Stupnjevi slobode/ Degrees of freedom | Sredina kvadrata/ Mean square | F | P |
| Godina/ Year | 2 | 4702,705 | 578,345 | < 0,01 |
| Genotip/ Genotype | 21 | 1643,316 | 202,097 | < 0,01 |
| Ponavlanje/ Repetition | 1 | 0,255 | 0,031 | 0,860 |
| Pogreška/ Error | 65 | 8,131 | | |

Tablica 3. Analiza varijance za koncentraciju bjelančevina (% AST) u zrnu linija soje (2010.-2012.)

Table 3. Analysis of variance for protein concentration (% DWM – Dry Weight Matter) in the seed of soybean lines (2010-2012)

| Izvor varijabilnosti/ Source of variation | Koncentracija bjelančevina (% AST)/ Protein concentration (% DWM) | | | |
|--|---|----------------------------------|-----------|--------|
| | Stupnjevi slobode/ Degrees of freedom | Sredina kvadrata/ Mean square | F | P |
| Godina/ Year | 2 | 391,193 | 11761,360 | < 0,01 |
| Genotip/ Genotype | 21 | 3,139 | 94,389 | < 0,01 |
| Ponavlanje/ Repetition | 1 | 0,025 | 0,751 | 0,389 |
| Pogreška/ Error | 65 | 0,033 | | |

Tablica 4. Analiza varijance za koncentraciju ulja (% AST) u zrnu linija soje (2010.-2012.)

Table 4. Analysis of variance for oil concentration (% DWM –Dry Weight Matter) in the seed of soybean lines (2010-2012)

| Izvor varijabilnosti/ Source of variation | Koncentracija ulja (% AST)/ Oil concentration (% DWM) | | | |
|--|---|----------------------------------|-----------|--------|
| | Stupnjevi slobode/ Degrees of freedom | Sredina kvadrata/ Mean square | F | P |
| Godina/ Year | 2 | 160,976 | 12748,372 | < 0,01 |
| Genotip/ Genotype | 21 | 1,616 | 127,948 | < 0,01 |
| Ponavljanje/ Repetition | 1 | 0,104 | 8,218 | 0,223 |
| Pogreška/ Error | 65 | 0,013 | | |

Razlike u masi 1000 zrna između linija soje u ovom su istraživanju bile izrazite, ista je u trogodišnjem prosjeku varirala od 139,35 g (OS-L-277) do 215,02 g (OS-L-369), dok je srednja vrijednost trogodišnjega pokusa bila 171,06 g (Tablica 5.). Kako masa 1000 zrna soje može varirati od 40 do čak 500 grama, od divljih do povrtnih sorti (Vratarić i Sudarić, 2008.), u različitim istraživanjima zabilježene su različite minimalne i maksimalne, odnosno srednje vrijednosti. Tako su, na primjer, Sudarić i Vratarić (2002.) za 22 genotipa utvrdili variranje mase 1000 zrna od 126,0 do 173,7 g, Malik i sur. (2006.) za 17 genotipova od 139 do 210 g, Antalikova i sur. (2008.) za 50 genotipova od 127 do 230 g, Ghodrati (2013.) za 12 genotipova od 131,60 do 223,30 g, a Malik i sur. (2011.) za 92 genotipa čak od 42 do 195 g. Popović i sur. (2012.b) utvrdili su uži raspon vrijednosti (141,26-149,27 g), ali u njihovom istraživanju genotip nije statistički značajno utjecao na fenotipsku ekspresiju svojstva, dok je godina utjecala na razini značajnosti od 5%. Kao rasponi, i srednje vrijednosti mase 1000 zrna znatno se razlikuju po istraživanjima, ovisno o korištenim genotipovima i vanjskim utjecajima, pa je, na primjer, u istraživanju Basića i sur. (2006.) srednja vrijednost bila 194,57 g, u istraživanju Adityja i sur. (2011.) 99,80 g, kod Malik i sur. (2011.) 114,60 g, a kod Ghodrati (2013.) 162 g. Kao linije s najvećom masom 1000 zrna,

u ovom se istraživanju izdvajaju OS-L-369, OS-L-311, OS-L-286 i OS-L-305 (Tablica 5.).

Ako promatramo kretanje vrijednosti mase 1000 zrna po godinama, značajnost utjecaja okoline na fenotipsku ekspresiju svojstva jasno je uočljiva, što je potvrđeno i analizom varijance kroz statistički visoko značajne ($P < 0,01$) razlike između godina (Tablica 2.). Iako su sve tri godine po prosječnim vrijednostima temperatura tijekom vegetacije soje bile iznad višegodišnjega prosjeka (1961.-1990.), prva se godina (2010.) pokusa u odnosu na ostale dvije (2011. i 2012.) izdvaja kao godina s nižim temperaturama i većom količinom oborina, koje su premašile i višegodišnji prosjek (1961.-1990.) (Tablica 1.). Treća je godina pokusa (2012.) tijekom perioda formiranja i nalijeivanja zrna od sve tri bila najtoplija i najsuša (Tablica 1.), a kako su se godine izrazito razlikovale, moguće je bilo istražiti njihov utjecaj na svojstva kvalitete zrna. Negativan učinak visokih temperatura i nedostatka vode u tlu tijekom cvatnje, formiranja mahuna i nalijeivanja zrna na akumulaciju suhe tvari u zrnu soje, koje su ranije utvrdili Vratarić i Sudarić (2008.) te Popović i sur. (2012.a,b), potvrđen je i u ovom istraživanju, jer je najmanja prosječna vrijednost mase 1000 zrna svih genotipova zabilježena 2012. godine (159,57 g), a najveća 2010. (179,59 g) (Tablica 5.).

Tablica 5. Srednje vrijednosti (X) i mjere varijacije za masu 1000 zrna (g) linija soje (2010.- 2012.)

Table 5. Averages (X) and measures of variation for 1000 seed weight (g) of soybean lines (2010-2012)

| Genotip / Genotype | Masa 1000 zrna (g) / 1000 seed weight (g) | | | X |
|--------------------|---|--------|--------|-----------------------|
| | 2010. | 2011. | 2012. | |
| OS-L-273 | 198,80 | 174,90 | 150,30 | 174,67 ^{cde} |
| OS-L-276 | 172,55 | 170,75 | 163,15 | 168,82 ^{fg} |
| OS-L-277 | 137,50 | 153,85 | 126,70 | 139,35 ^e |
| OS-L-281 | 179,50 | 155,85 | 147,05 | 160,80 ^{ji} |
| OS-L-284 | 146,05 | 184,15 | 155,50 | 161,90 ^{hi} |
| OS-L-286 | 211,15 | 190,55 | 175,80 | 192,50 ^b |
| OS-L-292 | 164,55 | 156,80 | 138,40 | 153,25 ^k |
| OS-L-299 | 183,30 | 171,10 | 150,05 | 168,15 ^{fg} |
| OS-L-305 | 233,40 | 172,75 | 160,70 | 188,95 ^b |
| OS-L-311 | 213,95 | 189,20 | 175,00 | 192,72 ^b |

| Genotip / Genotype | Masa 1000 zrna (g) / 1000 seed weight (g) | | | X |
|---|---|---------------------|---------------------|----------------------|
| | 2010. | 2011. | 2012. | |
| OS-L-312 | 153,45 | 162,80 | 154,65 | 156,97 ^{ik} |
| OS-L-315 | 195,55 | 175,10 | 149,85 | 173,50 ^{de} |
| OS-L-335 | 184,25 | 171,95 | 172,45 | 176,22 ^{cd} |
| OS-L-337 | 173,40 | 183,35 | 175,95 | 177,57 ^{cd} |
| OS-L-342 | 155,85 | 155,40 | 150,55 | 153,94 ^k |
| OS-L-346 | 159,55 | 163,35 | 174,30 | 165,73 ^{gh} |
| OS-L-347 | 175,25 | 183,30 | 177,75 | 178,77 ^c |
| OS-L-352 | 194,40 | 175,55 | 159,55 | 176,50 ^{cd} |
| OS-L-364 | 156,35 | 160,75 | 144,60 | 153,90 ^k |
| OS-L-368 | 166,10 | 187,85 | 157,25 | 170,40 ^{ef} |
| OS-L-369 | 247,15 | 200,30 | 197,60 | 215,02 ^a |
| OS-L-374 | 149,05 | 188,95 | 153,30 | 163,77 ^{hi} |
| Srednja vrijednost/ Mean | 179,59 ^a | 174,03 ^b | 159,57 ^c | 171,06 |
| Minimum/ Minimum | 137,50 | 153,85 | 126,70 | 139,35 |
| Maksimum/ Maximum | 247,15 | 200,30 | 197,60 | 215,02 |
| Koeficijent varijacije (%)/ Coefficient of variation (%) | 15,87 | 7,64 | 9,95 | 9,68 |

Kako bismo usporedili varijabilnost između testiranih genotipova za pojedina svojstva, izračunat je koeficijent varijacije. Prosječna vrijednost koeficijenta varijacije za masu 1000 zrna iz ovog istraživanja (9,68%) (Tablica 5.) podudarala se s vrijednostima utvrđenim za dvije od četiri različite povezujuće grupe genotipova u istraživanju Antalikova i sur. (2008.), koji su iznosili 9,98% i 9,40%, dok su u ostale dvije povezujuće grupe koeficijenti varijacije bili veći: 13,35% i 12,95%. Utjecaj različitih uvjeta okoline na varijabilnost svojstava u ovom istraživanju jasno se mogao uočiti i iz vrijednosti koeficijenta varijacije po godinama. U slučaju mase 1000 zrna, najmanje variranje među genotipovima uočeno je 2011. godine (CV=7,64%), srednje 2012. (CV=9,95%), a najveće 2010. godine (CV=15,87%) (Tablica 5.). Nešto niže vrijednosti utvrđene su u trogodišnjem istraživanju Sudarić i Vratarić (2002.) na 22 genotipa soje, kada je koeficijent varijacije, ovisno o godinama, bio u rasponu od 5,24% do 6,07%. Procjene koeficijenta varijabilnosti u drugim su se istraživanjima kretale od manjih (3,18%) do znatno većih (39,01%) (Aditya i sur., 2011.; Malik i sur., 2011.), ovisno o obimu pokusa, uključenome materijalu te uvjetima okoline.

Koncentracija bjelančevina u ovome pokusu varirala je u rasponu od 39,06% (OS-L-374) do 41,50% (OS-L-369), dok je srednja vrijednost bila na razini 40,07% (Tablica 6.). Slične su vrijednosti utvrđene u istraživanju Vratarić i sur. (2005.), gdje je raspon vrijednosti iznosio 38,7-41,2%, a srednja vrijednost 39,93%, te u istraživanju Ramteke i sur. (2010.), u kojem je raspon bio 37,69-42,74%, a srednja vrijednost 40,23%. Vrijednosti

pokusa za koncentraciju ulja u zrnju soje bile su u rasponu od 22,09% (OS-L-312) do 24,09% (OS-L-374), sa srednjom vrijednosti koja je iznosila 23,05% (Tablica 6.), što se podudaralo s rasponom (22,1-23,8%) i prosjekom (22,92%) utvrđenim u istraživanju Vratarić i sur. (2005.) te rasponom (21-26%) i prosjekom (23,4%) utvrđenim u istraživanju Ghodratiya (2013.). Kako koncentracije bjelančevina, ali i ulja u zrnju soje, potvrđeno ovisi o genotipu i okolini (Sudarić i sur., 2006.; Popović i sur., 2012.a; Bueno i sur., 2013.; Ghodrati, 2013.; Josipović i sur., 2013.; Rodrigues i sur., 2014.), rasponi i srednje vrijednosti variraju od istraživanja do istraživanja pa je tako u istraživanju Popovića i sur. (2012.b) s četiri genotipa soje utvrđena srednja vrijednost koncentracije bjelančevina od 37,15% (raspon: 36,65-37,66%), a ulja 21,08% (raspon: 19,13-23,16%), kod Bueno i sur. (2013.) 42,44% za bjelančevine (raspon: 40,20-44,49%) i 22,10% za ulje (raspon: 20,72-22,81%), a kod Sharma i sur. (2014.) 41,4% za bjelančevine (raspon: 39,40-44,40%) i 16,3% za ulje (raspon: 14-8,70%). Koncentracija bjelančevina u zrnju soje kod cjelokupne kolekcije germplazme USDA varirala je od 34,1% do čak 56,8%, a koncentracija ulja od 8,1% do 27,9% (Wilson, 2004.). Razlike srednjih vrijednosti i raspona vrijednosti za koncentraciju bjelančevina i koncentraciju ulja ovisi i o namjeni kultivara soje uključenih u različita istraživanja, odnosno o ciljevima oplemenjivačkih programa iz kojih su genotipovi uzeti. U ovom istraživanju najveću su koncentraciju bjelančevina imale linije OS-L-369, OS-L-335, OS-L-284 i OS-L-346, a najveću koncentraciju ulja OS-L-374 i OS-L-273 (Tablica 6.).

Tablica 6. Srednje vrijednosti (X) i mjere varijacije za koncentraciju bjelančevina i ulja (% AST) u zrnu linija soje (2010.-2012.)

Table 6. Averages (X) and measures of variation for concentrations of proteins and oil (% DMW) in the seed of soybean lines (2010 – 2012)

| Genotip/ Genotype | Koncentracija bjelančevina (% AST)/ Protein concentration (% DMW) | | | | Koncentracija ulja (% AST)/ Oil concentration (% DMW) | | | |
|--|--|--------------------|--------------------|----------------------|--|--------------------|--------------------|---------------------|
| | 2010. | 2011. | 2012. | X | 2010. | 2011. | 2012. | X |
| OS-L-273 | 40,94 | 37,55 | 42,26 | 40,25 ^{de} | 21,77 | 23,44 | 26,35 | 23,85 ^b |
| OS-L-276 | 39,29 | 36,15 | 42,82 | 39,42 ⁱ | 21,22 | 22,67 | 25,44 | 23,11 ^e |
| OS-L-277 | 39,29 | 37,95 | 42,56 | 39,94 ^{fg} | 20,76 | 22,12 | 24,29 | 22,39 ^h |
| OS-L-281 | 40,85 | 37,64 | 42,96 | 40,49 ^{cd} | 21,51 | 22,63 | 25,06 | 23,06 ^e |
| OS-L-284 | 41,14 | 38,72 | 43,39 | 41,09 ^b | 20,97 | 21,97 | 24,57 | 22,50 ^h |
| OS-L-286 | 40,26 | 34,61 | 42,39 | 39,08 ⁱ | 21,31 | 23,80 | 25,72 | 23,61 ^c |
| OS-L-292 | 40,45 | 37,76 | 43,81 | 40,67 ^c | 21,47 | 23,15 | 24,43 | 23,01 ^{ef} |
| OS-L-299 | 40,31 | 36,59 | 43,09 | 39,99 ^{efg} | 21,41 | 22,54 | 25,19 | 23,05 ^e |
| OS-L-305 | 40,19 | 36,47 | 43,69 | 40,12 ^{ef} | 21,01 | 22,97 | 23,71 | 22,56 ^h |
| OS-L-311 | 39,22 | 35,68 | 43,43 | 39,44 ⁱ | 21,71 | 24,00 | 25,38 | 23,69 ^{bc} |
| OS-L-312 | 39,67 | 38,30 | 43,54 | 40,51 ^{cd} | 20,39 | 21,73 | 24,14 | 22,09 ⁱ |
| OS-L-315 | 37,98 | 36,68 | 42,57 | 39,08 ⁱ | 21,27 | 23,09 | 25,45 | 23,27 ^d |
| OS-L-335 | 41,70 | 37,69 | 44,30 | 41,23 ^{ab} | 20,33 | 22,31 | 23,79 | 22,15 ⁱ |
| OS-L-337 | 39,57 | 36,69 | 42,95 | 39,74 ^{gh} | 21,70 | 22,98 | 25,39 | 23,36 ^d |
| OS-L-342 | 40,15 | 38,24 | 41,34 | 39,91 ^{fg} | 21,03 | 22,56 | 25,66 | 23,08 ^e |
| OS-L-346 | 40,28 | 38,89 | 43,96 | 41,05 ^b | 21,17 | 22,75 | 25,14 | 23,02 ^{ef} |
| OS-L-347 | 39,48 | 36,07 | 43,31 | 39,62 ^{hi} | 20,61 | 22,81 | 25,13 | 22,85 ^{fg} |
| OS-L-352 | 40,48 | 36,84 | 43,45 | 40,26 ^{de} | 20,78 | 22,83 | 24,55 | 22,72 ^g |
| OS-L-364 | 39,40 | 36,39 | 42,79 | 39,53 ^{hi} | 21,60 | 23,14 | 25,04 | 23,26 ^d |
| OS-L-368 | 38,98 | 36,90 | 42,51 | 39,46 ^{hi} | 21,91 | 22,93 | 25,43 | 23,42 ^d |
| OS-L-369 | 40,65 | 38,36 | 45,49 | 41,50 ^a | 21,19 | 22,69 | 25,09 | 22,99 ^{ef} |
| OS-L-374 | 38,81 | 36,84 | 41,53 | 39,06 ⁱ | 22,34 | 23,58 | 26,36 | 24,09 ^a |
| Srednja vrijednost/ Mean | 39,96 ^b | 37,14 ^c | 43,09 ^a | 40,07 | 21,25 ^c | 22,85 ^b | 25,06 ^a | 23,05 |
| Minimum/ Minimum | 37,98 | 34,61 | 41,34 | 39,06 | 20,33 | 21,73 | 23,71 | 22,09 |
| Maksimum/ Maximum | 41,70 | 38,89 | 45,49 | 41,50 | 22,34 | 24,00 | 26,36 | 24,09 |
| Koeficijent varijacije (%)/ Coefficient of variation (%) | 2,18 | 2,88 | 2,10 | 1,81 | 2,35 | 2,44 | 2,83 | 2,26 |
| Vrijednosti iza kojih slijede različita slova statistički su značajno različite kod P = 0,01/ Values with different superscript letters are statistically different at P = 0,01 | | | | | | | | |
| LSD _{godina(0,01)} / LSD _{year(0,01)} = 0,103; LSD _{genotip(0,01)} / LSD _{genotype(0,01)} = 0,279 | | | | | | | | |

Koncentracija se ulja u odnosu na uvjete sredine kretala suprotno kretanju mase 1000 zrna pa je 2012. godine utvrđena najviša razina prosječne koncentracije (25,06%), a u izrazito vlažnoj 2010. najmanja (21,25%) (Tablica 6.). Isti je slučaj bio i u istraživanju Josipovića i sur. (2013.) s osječkim sortama soje za razdoblje 2010.-2012. Prema Popoviću i sur. (2012.b) te Josipoviću i sur. (2013.), sadržaj je ulja veći u godinama s manje oborina, uz više temperature zraka tijekom formiranja

mahuna i nalijevanja zrna, dok je suprotno istinito za koncentraciju bjelančevina. Značaj dovoljne količine vode u tlu za ta svojstva kvalitete utvrdio je i Latifi (1989.), u čijem je istraživanju navodnjavanje u početku formiranja mahuna te tijekom nalijevanja zrna rezultiralo povećanjem koncentracije bjelančevina, a smanjenjem koncentracije ulja. Isto su potvrdili i Kirnak i sur. (2010.) te Ghassemi-Golezani i Farshbaf-Jafari (2012.). Ako uz navedeno uzmemo u obzir i međusobno inverzan odnos

koncentracije ulja i bjelančevina, pri čemu se smatra da 1% smanjenja koncentracije ulja u zrnju uzrokuje 2% porasta koncentracije bjelančevina (Clemente i Cahoon, 2009.), očekivati bi bilo da prosječne vrijednosti koncentracije bjelančevina po godinama imaju suprotan trend kretanja u odnosu na koncentraciju ulja. Ipak, takvo kretanje koncentracije bjelančevina nije potvrđeno u ovom istraživanju, jer je najveći prosjek svih genotipova za koncentraciju bjelančevina zabilježen 2012. godine (Tablica 6.). Iako maksimalna koncentracija bjelančevina u zrnju soje nije, prema prethodno navedenim istraživanjima, očekivana u godinama koje su izrazito suhe i tople, kao što je to bilo slučaj 2012. godine (Tablica 1.), Gibson i Mullen (1996.) navode da visoke dnevne temperature u kombinaciji s visokim noćnim temperaturama tijekom R5-R8 faze razvoja (nalijevanje zrna do zriobe) mogu uzrokovati porast sadržaj bjelančevina sukladno porastu prosječnih temperatura. Također, Dornbos i Mullen (1992.), temeljem rezultata istraživanja, došli su do zaključka da visoke temperature uz sušne uvjete u nalijevanju zrna soje rezultiraju značajnim porastom koncentracije bjelančevina.

Razinu varijacije sličnu kao u ovom istraživanju za koncentraciju bjelančevina (CV= 1,81%) i ulja (CV=2,26% (Tablica 6.) utvrdili su Bueno i sur. (2013.) na 18 genotipova soje (CV=1,91% za bjelančevine, CV=2,78% za ulje), dok je koeficijent varijacije u istraživanju Ghodrati (2013.) za bjelančevine bio 3,06 %, a za ulje 1,72%, a kod Rodrigues i sur. (2010.) za bjelančevine 4,1%, a za ulje 3,8%. Koeficijenti su varijacije za koncentraciju bjelančevina i ulja u svim godinama trajanja pokusa bili na sličnoj razini (Tablica 6.), iz čega možemo zaključiti da je fenotipska ekspresija tih svojstava relativno stabilna, odnosno da utjecaj godine, iako statistički visoko značajan, nije izrazito velik.

ZAKLJUČAK

Na temelju rezultata istraživanja fenotipske raznolikosti 22 linije soje u masi 1000 zrna te koncentracijama bjelančevina i ulja, utvrđeno je postojanje genetske varijabilnosti materijala uz statistički visoko značajan utjecaj uvjeta okoline. Kao linije sa superiornom masom 1000 zrna izdvojile su se OS-L-369, OS-L-311, OS-L-286 i OS-L-305, sa superiornom koncentracijom bjelančevina linije OS-L-369, OS-L-335, OS-L-284 i OS-L-346, a sa superiornom koncentracijom ulja linije OS-L-374 i OS-L-273. Kako je genetska varijabilnost osnova uspješnog oplemenjivanja bilja i unapređenja kultura, rezultati provedenog istraživanja bit će polazna točka u planiranju budućih programa križanja, s ciljem povećanja mase 1000 zrna, koncentracije bjelančevina i koncentracije ulja, što može rezultirati u povećanju isplativosti uzgoja soje kao stočne hrane, ali i kao sirovine za razne grane prerađivačke industrije.

LITERATURA

- Aditya, J.P., Bhartiya, P., Bhartiya, A. (2011): Genetic variability, heritability and character association for yield and component characters in soybean (*G. max* (L.) Merrill). *Journal of Central European Agriculture*, 12(1): 27-34.
doi: <http://dx.doi.org/10.5513/JCEA01/12.1.877>
- Antalikova, G., Žakova, M., Benedikova, D. (2008): Characterization of soybean traits variability by cluster analysis. *Agriculture/Poljoprivreda*, 54: 45-53.
- Basić, S., Carović, K., Kolak, I., Gunjača, J., Šatović, Z. (2006.): Kretanje prinosa i sastavnica prinosa kultivara soje u različitim sklopovima. *Sjemenarstvo*, 23(3): 223-235.
- Brown-Guedira, G., Thompson, J., Nelson, R., Warburton, M. (2000): Evaluation of genetic diversity of soybean introductions and North American ancestors using RAPD and SSR markers. *Crop Science*, 40: 815-823.
doi: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2000.403815x>
- Bueno, R.D., Borges, L.L., Arruda, K.M.A., Bhering, L.L., Barros, E.G. de, Moreira, M.A. (2013): Genetic parameters and genotype x environment interaction for productivity, oil and protein content in soybean. *African Journal of Agricultural Research*, 8(38): 4853-4859.
doi: <http://doi.org/10.5897/AJAR2013.6924>
- Clemente, T.E., Cahoon, E.B. (2009): Soybean oil: Genetic approaches for modification of functionality and total content. *Plant Physiology*, 151: 1030-1040.
doi: <http://dx.doi.org/10.1104/pp.109.146282>
- Dornbos, D.L., Jr., Mullen, R.E. (1992): Soybean seed protein and oil contents and fatty acid composition adjustments by drought and temperature. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 69(3): 228-231.
doi: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02635891>
- FAOSTAT database (FAOSTAT, 2016): <http://faostat3.fao.org/home/E>
- Fehr, W.R., Curtiss, C.F. (2004): Breeding for fatty acid composition of soybean oil. U: Moscardi F i sur. (ur.): *Proceeding of the 7th World Soybean Research Conference (WSRC)*, Brasil, 815-821.
doi: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2007.04.0004IPBS>
- Ghassemi-Golezani, K., Farshbaf-Jafari, S. (2012): Influence of water deficit on oil and protein accumulation in soybean grains. *International journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 2(3): 46-52.
- Ghodrati, G. (2013): Study of genetic variation and broad sense heritability for some qualitative and quantitative traits in soybean (*Glycine max* L.) genotype. *Current Opinion in Agriculture*, 2(1): 31-35.
- Gibson, L.R., Mullen, R.E. (1996): Soybean seed composition under high day and night growth temperatures. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73(6): 733-737.
doi: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02517949>
- Gizlice, Z., Carter, J., Burton, J. (1994): Genetic base for North American public soybean cultivars released between 1947 and 1988. *Crop Science*, 34: 1143-1151.
doi: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400050001x>

14. Grainger, C.M., Rajcan, I. (2014): Characterization of the genetic changes in a multi-generational pedigree of an elite Canadian soybean cultivar. *Theoretical and Applied Genetics*, 127(1): 211-229.
doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00122-013-2211-9>
15. Infratec 1241 Grain Analyzer User Manual, Foss Tecator AB, Švedska (1992).
16. Iqbal, Z., Arshad, M., Ashraf, M., Naeem, R., Malik, M.F., Waheed, A. (2010): Genetic divergence and correlation studies of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) genotypes. *Pakistan Journal of Botany*, 42(2): 971-976.
17. Jaureguy, L.M., Chen, P., Scaboo, A.M. (2011): Heritability and correlations among food grade traits in soybean. *Plant Breeding*, 130: 647-652.
doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0523.2011.01887.x>
18. Josipović, M., Sudarić, A., Sudar, R., Plavšić, H., Marković, M., Jug, D., Stojić, B. (2013): Influence of irrigation and variety on the soybean grain yield and quality in the no nitrogen fertilization soil condition. *Soil and Crop Management: Adaptation and Mitigation of Climate Change*. Vukadinović, V., Đurđević, B. (ur.). Osijek: Grafika d.o.o., 237-245.
19. Kirnak, H., Dogan, E., Turkoglu, H. (2010): Effect of drip irrigation intensity on soybean seed yield and quality in the semi-arid Harran plain, Turkey. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(4): 1208-1217.
doi: <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2010084-1239>
20. Latifi, N. (1989): Yield and morphological response of soybean to time of irrigation and sowing rate. *Dissertation Abstracts International*, 40: 5088-5098.
21. Malcolm, M., Harvey, V., Elroy, C. (2002): Agronomic changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. *Agronomy Journal*, 92: 780-784.
doi: <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1999.914685x>
22. Malik, M.F.A., Ashraf, M., Qureshi, A.S., Ghafoor, A. (2006): Utilization of diverse germplasm for soybean yield improvement. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(4): 663-667.
doi: <http://dx.doi.org/10.3923/ajps.2006.663.667>
23. Malik, M.F.A., Ashraf, M., Qureshi, A.S., Khan, M.R. (2011): Investigation and comparison of some morphological traits of the soybean populations using cluster analysis. *Pakistani Journal of Botany*, 43(2): 1249-1255.
24. Moose S.P., Mumm R.H. (2008): Molecular plant breeding as the foundation for 21st century crop improvement. *Plant Physiology*, 147: 969-977.
doi: <http://dx.doi.org/10.1104/pp.108.118232>
25. Popović, V., Vidić, M., Tatić, M., Jakšić, S., Kostić, M. (2012.a): Uticaj sorte i godine na prinos i komponente kvaliteta soje. *Ratarstvo i povrtarstvo*, 49: 132.-139.
26. Popović, V., Vidić, M., Jocković, Đ., Ikanović, J., Jakšić, S., Cvijanović, G. (2012b): Variability and correlation between yield components of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Genetika*, 44(1): 33-45.
doi: <http://dx.doi.org/10.2298/GENSR1201033P>
27. Pravilnik o metodama uzorkovanja i ispitivanja kvalitete sjemena; *Narodne novine* 99/08.
28. Ramteke, R., Kumar, V., Murlidharan, P., Agarwal, D.K. (2010): Study on genetic variability and traits interrelationship among released soybean varieties of India (*Glycine max* (L.) Merrill). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 1(6): 1483-1487.
29. Rodrigues, J.I.D, De Miranda, F.D., Ferreira, A., Borges L.L., Ferreira, M.F.D., Good-God, P.I.V., Piovesan, N.D., De Barros, E.G., Cruz, C.D., Moreira, M.A. (2010): Mapping QTL for protein and oil content in soybean. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(5): 472-480.
doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2010000500006>
30. Rodrigues, J.I.D, Arruda, K.M.A, Cosme Damiano Cruz, C.D., Piovesan, N.D., Barros, E.G. de, Moreira, M.A. (2014): Biometric analysis of protein and oil contents of soybean genotypes in different environments. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(6): 475-482.
doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2014000600009>
31. Romić, D., Petošić, D., Stričević, I., Ondrašek, G., Rus, B., Kondres, N., Maurović, N. (2006.): Hidropedološka studija s idejnim rješenjem navodnjavanja proizvodnih površina Poljoprivrednog instituta Osijek. *Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za poljoprivredne melioracije, Zagreb*.
32. SAS 9.3 Software (2011) SAS Institute Inc, Cary, NC, USA.
33. Sharma, S., Kaur, M., Goyal, R., Gill, B.S. (2014): Physical characteristics and nutritional composition of some new soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) genotypes. *Journal of Food Science and Technology*, 51: 551-557.
doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-011-0517-7>
34. Sudarić, A., Vratarić, M. (2002): Variability and interrelationships of grain quantity and quality characteristics in soybean. *Die Bodenkultur*, 53(3): 137-142.
35. Sudarić, A., Šimić, D., Vratarić, M. (2006): Characterization of genotype by environment interactions in soybean breeding programmes of southeast Europe. *Plant Breeding*, 125: 191-194.
doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0523.2006.01185.x>
36. Vratarić, M., Sudarić, A., Sudar, R., Duvnjak, T., Jurković, D., Jurković, Z. (2005): Genetic advance in quantitative traits of soybean lines within different maturity groups. *Poljoprivreda/Agriculture*, 11(1): 5-10.
37. Vratarić, M., Sudarić, A. (2008.): Soja. *Poljoprivredni institut Osijek, Osijek*: 1,-459.
38. Wilcox, J. (2001): Sixty years of improvement in publicly developed elite soybean lines. *Crop Science*, 49: 1711-1716.
doi: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2001.1711>
39. Wilson, R.F. (2004): Seed composition. U: H.R. Boerma, J.E. Specht (ur.) *Soybeans: Improvement, Production and Uses*, Ed 3, American Society of Agronomy, Madison, 621-677.

VARIABILITY IN PHENOTYPIC EXPRESSION OF SEED QUALITY TRAITS IN SOYBEAN GERmplasm

SUMMARY

The aim of this research was to determine the genetic variability of chosen soybean lines in seed quality by determining diversity in phenotypic expression of 1000 seed weight, as well as protein and oil concentrations in the seed. Field trials were set up in a randomized, complete block design with two replications, at the Agricultural Institute Osijek during three growing seasons (2010-2012). Each year, after harvest, 1000 seed weight, and protein and oil concentrations in the seed were determined. Statistical analyses of the results included: calculating basic measures of variation and analysis of variance. The analyzed data showed the existence of plant material's diversity in phenotypic expression of investigated seed quality traits, as well as the existence of statistically significant genotype and year effects.

Key-words: soybean, 1000 seed weight, proteins, oil, variability, breeding

(Primljeno 18. travnja 2017.; prihvaćeno 05. svibnja 2017. - Received on 18 April 2017; accepted on 5 May 2017)