

# PROCJENA FENOTIPSKIH I GENETSKIH KORELACIJA ZA SVOJSTVA KVALITETE U POPULACIJI PŠENICE

D. Novoselović, R. Šimek, K. Dvojković, G. Drezner

Izvorni znanstveni članak  
Original scientific paper

## SAŽETAK

**Cilj rada bio je dobiti informacije o fenotipskim i genetskim korelacijama za svojstva kvalitete pšenice u ranim generacijama. Za tu svrhu proveden je jednogodišnji poljski pokus s populacijom genotipova iz F7 generacije rekombiniranih inbred linija ( $n=143$ ) iz kombinacije križanja Bezostaja/Klara na lokacijama Osijek i Slavonski Brod u 2008./09. godini. Za analizirana svojstva (sadržaj bjelančevina u zrnu, sadržaj vlažnoga ljepk, gluten indeks, vrijeme zamjesa -MPT, visina zamjesa -MPH i širina srednje crte nakon 8 min zamjesa -MTW), dobivene vrijednosti ukazuju na konzistentnu pozitivnu fenotipsku i genetsku korelaciju između svojstava sadržaja bjelančevina u zrnu i vlažnoga ljepk, negativnu između sadržaja bjelančevina i vlažnoga ljepk s gluten indeksom te pozitivnu između sadržaja bjelančevina u zrnu i vlažnoga ljepk s vremenom (MPT) i visinom zamjesa (MPH). Podudarnost između procjena fenotipskih i genetskih korelacija utvrđena je na obje lokacije ( $r=0,81^{**}$  za Osijek i  $r=0,88^{**}$  Slavonski Brod).**

**Ključne riječi:** pšenica, kvaliteta, fenotipske korelacije, genetske korelacije, selekcija

## UVOD

Prema procjeni van Ginkela i suradnika (2002.), u programima oplemenjivanja pšenice, od ukupnoga broja križanja do faze testiranja u pokusima ostane 10 % od početnoga broja križanja, a svega 1-2 % daju priznate kultivare.

Kako genetska dobit od selekcije ovisi o ukupnoj genetskoj varijaciji, nasljednosti svojstva i primijenjenom intenzitetu selekcije (Allard, 1961.), tako je važno u kojoj se generaciji započinje sa selekcijom, jer složenost nasljeđivanja može biti izraženija u ranijim generacijama, zbog učinaka dominacije i epistaze, ali i interakcije gena s okolinom, na ukupnu genetsku varijancu (ovisno o generaciji izbora) (Wang i sur., 2005.).

Nadalje, oplemenjivači bilja za zadatak imaju isto-  
vremeno poboljšavanje više svojstava od interesa, što dodatno usporava genetski napredak u selekciji. Glavni razlog za to su korelacije, koje mogu biti fenotipske i genetske. Fenotipske korelacije postoje kad su fenotipske vrijednosti između dva svojstva u korelaciji zbog genetskih i negenetskih razloga. Genetska se korelacija odnosi na linearnu povezanost između oplemenjivačkih vrijednosti (aditivne genetske vrijednosti) individua između dva svojstva i najčešće se pojavljuje zbog vezanosti (linkage) gena i pleiotropnih učinaka gena (Bernardo,

2002.). Korelacije zbog pleiotropije trajnijega su karakteru nego one zbog vezanosti, a koje se mogu ponovljenim ciklusima rekombinacije (mejoze) promijeniti.

Cilj je rada bio dobiti informacije o fenotipskim i genetskim korelacijama koje se mogu koristiti u daljnjem oplemenjivačkome radu na poboljšanju kvalitete pšenice u ranim generacijama.

## MATERIJAL I METODE

### Poljski pokus

Pokus je postavljen u dva ponavljanja prema red\*stupac planu (row\*column design) sa 143 genotipa pšenice (rekombinirane inbred linije F7 generacije iz kombinacije križanja Bezostaja/Klara) na lokacijama Osijek i Slavonski Brod u vegetacijskoj godini 2008./09.

### Analizirana svojstva

1. Sadržaj bjelančevina u zrnu (%): utvrđen je korištenjem Infratek spektroskop uređaja (1241 Grain Analyzer, Foss Tecator AB).

*Dr.sc. Dario Novoselović (dario.novoselovic@poljin.hr), dipl.inž. Ruđer Šimek, dr.sc. Krešimir Dvojković, prof.dr.sc. Georg Drezner - Poljoprivredni institut Osijek, Južno predgrađe 17, 31103 Osijek*

Korištenjem glutomatik Perten uređaja prema ACC metodi 38-12 određeni su:

2. Sadržaj vlažnoga ljepka brašna (%) i

3. Gluten indeks (%): predstavlja omjer frakcija vlažnoga ljepka koja prolaze kroz sita promjera 0.2 mm.

Korištenjem miksograf uređaja na bazi uzorka od 10 grama brašna, prema AACC Metodi 54-40A, određeni su:

4. Vrijeme razvoja srednje crte zamjesa tijesta (min): vrijeme zamjesa tijesta za koje visina krivulje dođe do maksimuma (MPT). Kako se vrijeme povećava, rastezljivost tijesta se smanjuje, a stabilnost, elastičnost i tolerantnost na zamjes povećavaju se.

5. Najveća vrijednost ili visina srednje crte zamjesa tijesta (mm) (MPH): predstavlja maksimalnu vrijednost visine srednje crte zamjesa. Visina srednje crte pokazatelj je „jakosti“ brašna i što su vrijednosti visine veće to ukazuje na snagu ljepka. To svojstvo je funkcija sadržaja bjelančevina i sposobnosti upijanja vode.

6. Širina srednje crte nakon 8 minuta zamjesa tijesta (mm): predstavlja širinu srednje crte pri završetku analize (MTW) i pokazatelj je tolerantnosti ili otpornosti tijesta na zamjes.

#### Statistička obrada podataka

Statistička obrada podataka provedena je korištenjem procedura PROC MEANS i PROC CORR u SAS/STAT(R) 9.2 statističkome programu (SAS Institute, 2009.).

Procjena koeficijenta genetske korelacije i pripadajuće standardne pogreške izračunate su korištenjem

procedure PROC MIXED, s opcijom COVTEST i ASYCOV (Piepho i Möhring, 2011.), te procedurom PROC IML (Holland et al., 2003.).

Formula za procjenu koeficijenta genetske korelacije:

$$\rho_g = \frac{\sigma(x, y)}{\sqrt{\sigma^2_x \sigma^2_y}}$$

gdje su:

$\rho_g$  = koeficijent genetske korelacije,

$\sigma(x, y)$  = kovarijanca između varijabli x i y,

$\sigma^2_x$  = varijanca varijable x, i

$\sigma^2_y$  = varijanca varijable y.

Standardna pogreška koeficijenta genetske korelacije procijenjena je pomoću Delta metode (Lynch and Walsh, 1998.).

Podudarnost između procjena fenotipskih i genetskih korelacija testirana je pomoću Mantelovoga testa i izražena je kroz Pearsonov produkt momenta linearne korelacije na bazi 5000 permutacija, korištenjem PASSaGE 2.0 programa (Rosenberg i Anderson, 2011.).

#### REZULTATI I RASPRAVA

Iz Tablice 1. vidljivo je da su prosječne vrijednosti za sadržaj proteina, vlažnoga ljepka, vremena dolaska do vrha srednje crte (MPT) i visine srednje crte (MPH) bili veći na lokaciji Osijek, i uz manje vrijednosti koeficijenta varijacije, nego na lokaciji Slavonski Brod.

**Tablica 1. Deskriptivna statistika za analizirana svojstva u kombinaciji križanja Bezostaja/Klara na lokacijama Osijek i Slavonski Brod u 2008./09. godini**

Table 1. Descriptive statistics for analysed traits in crossing combination Bezostaja/Klara in Osijek and Slavonski Brod in 2008/09 year

Svojstvo Trait	Prosjeak Average	Minimum Min.	Maksimum Max.	Varijanca Variance	Standardna pogreška Stand. error	CV (%)
Osijek						
PROTEIN*	14,1	11,8	16,1	0,71	0,07	5,9
WGC	33,8	22,3	48,4	21,53	0,38	13,7
GI	96,3	70,2	99,7	16,88	0,33	4,2
MPT	5,7	3,4	7,7	0,98	0,08	17,2
MPH	44,0	29,8	55,1	16,61	0,33	9,2
MTW	20,3	12,4	27,7	5,67	0,20	11,7
Slavonski Brod						
PROTEIN	12,4	10,8	14,8	0,80	0,07	7,2
WGC	25,7	16,4	37,7	19,27	0,36	17,1
GI	97,7	62,4	99,6	16,45	0,33	4,2
MPT	5,2	1,2	7,9	2,34	0,12	29,5
MPH	38,1	25,0	48,5	21,73	0,38	12,2
MTW	21,7	11,5	42,9	16,21	0,33	18,5

\*PROTEIN=grain protein content (sadržaj bjelančevina u zrnu) (%), WGC=wet gluten content (sadržaj vlažnoga ljepka) (%), GI=gluten index (gluten indeks), MPT=mid-line peak time (vrijeme zamjesa) (min), MPH=mid-line peak height (visine srednje crte zamjesa) (mm) i MTW=mid-line tail width (širina srednje crte zamjesa) (mm)

U Tablici 2. prikazani su koeficijenti linearne korelacije po Pearsonu i razina njihove značajnosti za analizirana svojstva na obje lokacije. Na lokaciji Osijek statistički značajne korelacije nisu utvrđene ( $p < 0,05$ ) između sadržaja bjelančevina i širine srednje crte zamjesa (MTW), a na lokaciji Slavonski Brod između vremena zamjesa (MPT) i gluten indeksa te sadržaja vlažnoga lječka i vremena zamjesa (MPT), s jedne strane, i širine srednje crte zamjesa (MTW), s druge strane.

Vrlo jake pozitivne korelacije utvrđene su između sadržaja bjelančevina u zrnu i vlažnoga lječka na obje lokacije ( $r = 0,91^{***}$  vs.  $r = 0,92^{***}$ ) te visoke pozitivne

korelacije između sadržaja bjelančevina ( $r = 0,62^{***}$  vs.  $r = 0,70^{***}$ ) i vlažnoga lječka ( $r = 0,67^{***}$  vs.  $r = 0,70^{***}$ ), s jedne strane, i vrijednosti visine zamjesa tijesta (MPH), s druge strane, na obje lokacije.

Od analiziranih svojstava, gluten indeks najčešće je bio u negativnim korelacijama i to naročito sa sadržajem bjelančevina ( $r = -0,58^{***}$  vs.  $r = -0,37^{***}$ ) i vlažnoga lječka ( $r = -0,68^{***}$  vs.  $r = -0,51^{***}$ ) na obje lokacije (Tablica 2.). Dobivene vrijednosti linearnih korelacija u podudarnosti su s rezultatima drugih autora (Gómez-Becerra i sur., 2010.).

**Tablica 2. Fenotipske korelacije (r) i razina vjerojatnosti njihovih značajnosti (p) za analizirana svojstva za Osijek (gornji desni dio) i Slavonski Brod (donji lijevi dio) u 2008./09. godini**

Table 2. Phenotypic correlations (r) and the probability level of their significance (p) for analyzed traits in Osijek (upper-right part) and Slavonski Brod (lower-left part) in 2008/09 year

	PROTEIN*	WGC	GI	MPT	MPH	MTW
PROTEIN		0,91	-0,58	-0,17	0,62	-0,14
P		<0,001	<0,001	0,0358	<0,001	0,0806
WGC	0,92		-0,68	-0,34	0,67	-0,21
P	<0,001		<0,001	<0,001	<0,001	0,01
GI	-0,37	-0,51		0,44	-0,41	0,47
P	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	<0,001
MPT	0,61	0,58	-0,06		-0,32	0,43
P	<0,001	<0,001	0,4599		<0,001	<0,001
MPH	0,70	0,70	-0,16	0,41		0,23
P	<0,001	<0,001	0,04	<0,001		0,005
MTW	0,18	0,09	0,34	0,11	0,56	
P	0,026	0,2811	<0,001	0,18	<,0001	

\*PROTEIN=grain protein content (sadržaj bjelančevina u zrnu) (%), WGC=wet gluten content (sadržaj vlažnoga lječka) (%), GI=gluten index (gluten indeks), MPT= mid-line peak time (vrijeme zamjesa) (min), MPH= mid-line peak height (visine srednje crte zamjesa) (mm) i MTW=mid-line tail width (širina srednje crte zamjesa) (mm)

Genetske korelacije između sadržaja bjelančevina i vlažnoga lječka bile su vrlo jake i pozitivne na obje lokacije ( $\rho_g = 0,96$  vs.  $\rho_g = 1$ ), a između gluten indeksa, s jedne strane, i sadržaja bjelančevina i lječka jake negativne, s druge strane, i to na obje lokacije (Tablica 3.).

Između neizravnih parametara kvalitete (PROTEIN, WGC i GI) i parametra miksograma (MTW) utvrđeno je variranje vrijednosti genetskih korelacija, ovisno o lokaciji ispitivanja. Između ostalih analiziranih svojstava, vrijednosti genetskih korelacija bile su podudarne, osim što su procijenjene standardne pogreške genetskih korelacija bile, u prosjeku, nešto veće na lokaciji Slavonski Brod (Tablica 3.).

To je u skladu s rezultatima drugih autora (Dong et al., 1992.; Sgro i Hoffmann, 2004.), koji navode da okolina može utjecati na jakost tih veza i preciznost procjenâ.

**Tablica 3. Genetske korelacije ( $\rho_g$ ) i njihove standardne pogreške (s.e.) za analizirana svojstva za Osijek (gornji desni dio) i Slavonski Brod (donji lijevi dio) u 2008./09. godini**

Table 3. Genetic correlations ( $\rho_g$ ) and their standard errors (s.e.) for analyzed traits in Osijek (upper-right part) and Slavonski Brod (lower-left part) in 2008/09 year

	PROTEIN*	WGC	GI	MPT	MPH	MTW
PROTEIN		0,96	-0,62	-0,21	1	0,03
s.e.		0,01	0,06	0,09	0,00	0,11
WGC	1		-0,71	-0,40	0,73	0,09
s.e.	0,00		0,05	0,08	0,05	0,10
GI	-0,86	-0,85		0,52	-0,46	0,08
s.e.	0,29	0,13		0,08	0,08	0,10
MPT	1	1	-0,22		-0,39	-0,57
s.e.	0,00	0,00	0,29		0,09	0,09
MPH	1	1	-0,31	1		0,73
s.e.	0,00	0,00	0,14	0,00		0,07
MTW	-0,81	-0,64	0,50	-0,60	0,67	
s.e.	0,35	0,19	0,13	0,09	0,19	

\*PROTEIN=grain protein content (sadržaj bjelančevina u zrnu) (%), WGC=wet gluten content (sadržaj vlažnoga lječka) (%), GI=gluten index (gluten indeks), MPT=mid-line peak time (vrijeme zamjesa) (min), MPH=mid-line peak height (visine srednje crte zamjesa) (mm) i MTW=mid-line tail width (širina srednje crte zamjesa) (mm)

Jedan od razloga zašto oplemenjivači ne koriste rutinski genetske korelacije leži u činjenici da su one funkcija triju komponenti varijanci i/ili kovarijanci i kao takve izložene su velikim vrijednostima standardnih pogreški.

U takvim slučajevima, kad su procijenjene komponente varijanci i kovarijanci negativne i procjene samih genetskih korelacija izlaze izvan granica očekivanih vrijednosti, u postavkama modela mogu se postaviti ograničenja na tip strukture kovarijance. Treba naglasiti da za izbor najprikladnije strukture kovarijance ne postoje striktna pravila i variraju ovisno od slučaja do slučaja i postavljenoga modela (Kincaid, 2005.).

U novije vrijeme, analiza multivarijantnih mješovitih modela temeljena na REML-u (restricted maximum likelihood) postala je standardna procedura za tu svrhu i to uglavnom zbog velike prilagodljivosti i mogućnosti lakog upravljanja nebalansiranim podacima i složenim eksperimentalnim dizajnima (Piepho i Möhring, 2011.).

Od praktičnoga značaja u selekciji pri izboru tipa korelacija jest usporedba podudarnosti između vrijednosti fenotipskih i genetskih korelacija. Privlačnost korištenja fenotipskih korelacija ogleda se u jednostavnosti njihove procjene, a najveći nedostatak je što su procijenjene vrijednosti pod značajnim utjecajem okoline. Waitt i Levin (1998.) analizirali su podatke više od 4000 fenotipskih i genetskih korelacija, koje su predstavljali 27 različitih biljnih vrsta, i utvrdili su, u 74% usporedbi,

da su vrijednosti za fenotipske i genetske korelacije bile sličnije no što bi se očekivalo prema samoj slučajnosti, i u 85% slučajeva vrijednosti genetskih korelacija bile su veće od fenotipskih korelacija. To je potvrđeno i u našem istraživanju.

Sa svrhom procjene podudarnosti između matrica fenotipskih i genetskih korelacija, koristili smo Mantelov test. Mantelovim testom utvrđene su podudarnosti u dobivenim procjenama fenotipskih i genetskih korelacija na obje lokacije (Osijek,  $r=0,81^{**}$  i Slavonski Brod,  $r=0,88^{**}$ ). Međutim, podudarnosti između genetskih korelacija u Osijeku i Slavonskome Brodu nisu utvrđene ( $r=0,51$ ), ali između fenotipskih korelacija jesu ( $r=0,66^{**}$ ) (Tablica 4.).

**Tablica 4. Usporedba podudarnosti između genetskih ( $\rho_g$ ) i fenotipskih korelacija pomoću Mantelovoga testa**

Table 4. Conformity comparison between genetic ( $\rho_g$ ) and phenotypic( $r$ ) correlations by using Mantel test

	Slavonski Brod ( $\rho_g$ )	Osijek ( $r$ )
Osijek ( $\rho_g$ )	0,51 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>**</sup>
p	0,067	0,002
Slavonski Brod ( $r$ )	0,88 <sup>**</sup>	0,66 <sup>**</sup>
p	0,004	0,007

ns-nije statistički značajno (non-significant); \*\*statistički značajno na razini vjerojatnosti (statistically significant)  $p<0,05$

## ZAKLJUČAK

Na osnovi provedenih istraživanja, utvrđene su statistički opravdane:

1. vrlo jake pozitivne fenotipske i genetske korelacije između sadržaja bjelančevina i vlažnoga ljepka ( $r=0,91^{**}$  vs.  $r=0,92^{**}$ ) i ( $\rho_g=0,96$  vs.  $\rho_g=1$ ) na obje lokacije,

2. visoke pozitivne fenotipske i genetske korelacije između sadržaja bjelančevina ( $r=0,62^{***}$  vs.  $r=0,70^{***}$  te  $\rho_g=0,62$  vs.  $\rho_g=0,70$ ) i vlažnoga ljepka ( $r=0,67^{***}$  vs.  $r=0,70^{***}$  te  $\rho_g=0,67$  vs.  $\rho_g=0,70$ ), s jedne strane, i vrijednosti visine zamjesa tijesta (MPH) na obje lokacije,

3. jake negativne fenotipske i genetske korelacije između gluten indeksa, s jedne strane, i sadržaja bjelančevina ( $r= -0,58$  vs.  $r=-0,37$ ,  $\rho_g=-0,62$  vs.  $\rho_g=-0,86$ ) i ljepka ( $r= -0,68$  vs.  $r=-0,51$ ,  $\rho_g=-0,71$  vs.  $\rho_g=-0,85$ ), s druge strane, i to na obje lokacije.

Mantelovim testom utvrđene su podudarnosti u dobivenim procjenama fenotipskih i genetskih korelacija na obje lokacije (Osijek,  $r=0,81^{**}$  i Slavonski Brod,  $r=0,88^{**}$ ).

Na osnovi provedenog istraživanja, preporuka je da se učine procjene genetskih korelacija, jer one daju bolji uvid o utjecaju okoline na procjenu fenotipskih korelacija i čine sam selekcijski postupak pouzdanijim.

## ZAHVALA

Ovaj rad financirao je MZOŠ Republike Hrvatske i predstavlja dio istraživanja u sklopu projekta „Razvoj QTL pomoću molekularnih markera za svojstva kvalitete pšenice“ (073-0730718-0536).

## LITERATURA

- Allard, R.W. (1961): Principles of Plant Breeding. J. Wiley & Sons Ltd, New York, London.
- Bernardo, R. (2002): Breeding for quantitative traits in plants. Stemma Press, Woodbury, Minnesota, U.S.A.
- Dong, H., Sears, R.G., Cox, T.S., Hosney R.C., Lookhart, G.L., Shogren, M.D. (1992): Relationships between protein composition and mixograph and loaf characteristics in wheat. *Cereal Chem.*, 69(2):132-136.
- Gómez-Becerra, H.F., Abugalieva, A., Morgunov, A., Abdullayev, K., Bekeonva, L., Yessimbekova, M., Sereda, G., Shpigun, S., Tsygankov, V., Zelenskiy, Y., Pena, R.J., Cakmak, I. (2010): Phenotypic correlations, G x E interactions and broad sense heritability analysis of grain and flour quality characteristics in high latitude spring bread wheats from Kazakhstan and Siberia. *Euphytica*, 171:23-38.
- Holland, J.B. (2006): Estimating genotypic correlations and their standard errors using multivariate restricted maximum likelihood estimation with SAS Proc MIXED. *Crop Sci.*, 46: 642-654.
- Kincaid, C. (2005): Guidelines for selecting the covariance structure in mixed model analysis. Proceedings of the Thirtieth Annual SAS® Users Group International Conference, Cary, NC: SAS Institute Inc. Paper 198-30.
- Lynch, M., Walsh, B. (1998): Genetics and analysis of quantitative traits. Sinauer Associates, Inc, Publishers, Sunderland, Massachusetts, U.S.A.
- Piepho, H.P., Möhring, J. (2011): On estimation of genotypic correlations and their standard errors by multivariate REML using the MIXED Procedure of the SAS System. *Crop Sci.*, 51: 2449-2454.
- Poehlman, J.M., Sleper, A.D. (1995): Breeding Field Crops. Fourth Edition, Iowa State University Press/Ames.
- Rosenberg, M.S., C.D. Anderson (2011): PASSaGE: Pattern Analysis, Spatial Statistics and Geographic Exegesis. Version 2. *Methods in Ecology and Evolution* 2(3):229-232. <http://www.passagesoftware.net/download.php>
- SAS Institute (2009). SAS/STAT(R) 9.2 User's Guide, Second Edition.
- Sgro, C.M., Hoffmann, A.A. (2004): Genetic correlations, tradeoffs and environmental variation. *Heredity*, 9: 241-248.
- van Ginkel, M., Trethowan, R., Ammar, K., Wang, J., Lillem, M. (2002): Guide to bread wheat breeding at Cimmyt (rev.). Wheat Special Report No.5, CIMMYT:D,F,, Mexico.
- Waitt, D.E., Levin, D. A. (1998): Genetic and phenotypic correlations in plants: a botanical test of Cheverud's conjecture. *Heredity*, 80:310-319.
- Wang, J., Eagles, H.A., Trethowan, R., van Ginkel, M. (2005): Using computer simulation of the selection process and known gene information to assist in parental selection in wheat quality breeding. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56: 465-473.

## ESTIMATION OF PHENOTYPIC AND GENETIC CORRELATIONS FOR QUALITY TRAITS IN A WHEAT POPULATION

### SUMMARY

*The objective of this paper was to estimate phenotypic and genetic correlations in order to improve existing wheat quality breeding methodology in early generations. For this purpose, one-year trial with population of 143 recombinant inbred lines from crossing combination Bezostaja/Klara was carried out on Osijek and Slavonski Brod locations in 2008/09 year. Among analyzed traits (grain protein content, wet gluten content, gluten index, mid-line peak time -MPT, mid-line peak height -MPH and mid-line tail width -MTW) consistent positive phenotypic and genetic pattern of correlations was found between grain protein content and wet gluten content, negative between gluten index with grain protein content and wet gluten content, and positive between grain protein content and wet gluten content with MPT and MPH. Conformity of the phenotypic and genetic correlations was confirmed by Mantel test on both locations (for Osijek  $r=0.81^{**}$  and for Slavonski Brod  $r=0.88^{**}$ ).*

**Key-words:** *wheat, quality, phenotypic correlations, genetic correlations, selection*

Primljeno 27. prosinca 2011. - prihvaćeno 03. travnja 2012.; Received on 27 December 2011 - accepted on 3 April 2012)