

OCENA TOLERANTNOSTI GENOTIPOVA PŠENICE NA INDUKOVANI OSMOTSKI STRES U FAZI KLIJANACA^a

Milica Blažić^{1*}, Vesna Kandić², Gordana Branković³, Tomislav Živanović³

Izvod

Ocena genotipova pšenice u ranim fazama porasta, u fazi klijanaca, prema tolerantnosti na sušu predstavlja moćan alat u oplemenjivanju pšenice, s obzirom na to da su istraživanja na pšenici pokazala da je tolerantnost genotipova na sušu u fazi klijanaca u velikoj meri povezana sa tolerantnošću odraslih biljaka u poljskim uslovima. U radu je izvršena ocena tolerantnosti 19 genotipova pšenice u fazi klijanaca uzgajanih u hidroponskim uslovima na indukovani osmotski stres. Osmotski stres usled isušivanja koji simulira prirodni stres izazvan sušom, indukovano je upotrebom hemijskog jedinjenja polietilen-glikola (PEG-6000). Tolerantnost genotipova na indukovani osmotski stres prikazana je indeksima stresa: indeksom tolerantnosti na stres (STI) i indeksom osetljivosti na stres (SSI). Najosetljiviji na indukovani osmotski stres bili su genotipovi Pobjeda i Ingenio, čije su vrednosti SSI indeksa iznosile 2,49 i 2,10. Najotpornije na osmotski stres bilo je F1 potomstvo ukrštanja Dika x Donska sa vrednošću SSI indeksa 0,24. Najviše vrednosti STI indeksa zabeležene su kod genotipa Phoenix (1,11) i Ingenio (1,00) za koje se pokazalo da imaju visok potencijal za proizvodnju ukupne biomase u uslovima bez stresa, dok je njeno smanjenje u stresnim uslovima bilo zadovoljavajuće. Najniže vrednosti STI indeksa imalo je F1 potomstvo ukrštanja Pobjeda x Brigant (0,70), te genotipovi NS 40S (0,71) i WWBMC2 (0,76). Oni su pokazali niske vrednosti ukupne biomase u uslovima bez stresa i njeno značajno smanjenje u uslovima osmotskog stresa. Pet potomstava F1 generacije se izdvojilo kao superiorno u fazi klijanaca i u optimalnim i u uslovima osmotskog stresa: Dika x Donska, WWBMC2 x Ingenio, Dika x Ingenio, Pobjeda x Donska, Phoenix x NS 40S. Ispitivani genotipovi sa područja Srbije (Pobjeda, Zemunska Rosa i NS 40S) pokazali su visoku osetljivost na osmotski stres i visok potencijal za proizvodnju ukupne biomase.

Ključne reči: hlebna pšenica (*Triticum aestivum* L.), hidroponika, PEG-indukovani osmotski stres, indeks osetljivosti na stres (SSI), indeks tolerantnosti na stres (STI)

Uvod

Hlebna pšenica (*Triticum aestivum* L.) je jedan od najvažnijih useva sveta s obzirom na to da učestvuje u ishrani velikog dela svetske populacije (Salamini et al., 2002; Shewry, 2009). Da bi se postigla globalna potražnja za pšenicom, usled konstantnog porasta brojnosti ljudske populacije, neophodno je povećati prinose za

1,5% godišnje (Braun et al., 2008) prvenstveno primenom agrotehničkih mera i stvaranjem prinasnijih sorti otpornih na abiotičke i biotičke stresne činioce, dok je mogućnost povećanja prinosa preko povećanja obradivih površina upitna, jer je preostalo još samo oko 10% potencijalno obradivog zemljišta (Günther et al., 2000). Iako

* Originalni naučni rad (Original Scientific Paper)

¹ Blažić M, Akademija tehničkih strukovnih studija Beograd, odeljenje Primenjene inženjerske nauke Požarevac, Nemanjina 2, 12000 Požarevac, Srbija

² Kandić V, Institut za kukuruz Zemun Polje, Slobodana Bajića 1, 11185 Beograd, Srbija

³ Branković G, Živanović T, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, 11000 Beograd, Srbija
a Rad je deo doktorske disertacije: Blažić M (2022): Ocena genotipova pšenice na osnovu osobina korena i stabla klijanaca kao potencijal za oplemenjivanje. Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu

* e-mail: mblazic@atssb.edu.rs

je povećanje prinosa i dalje ostao osnovni cilj, oplemenjivanje pšenice se proširilo i na druga svojstva, među kojima je i otpornost na abiotičke stresne činioce od kojih je suša najučestalija. Ona je glavni ograničavajući faktor spoljašnje sredine koji globalno utiče na smanjenje produktivnosti pšenice (Richard et al., 2015). Prema podacima objavljenim od 1980. do 2015., 21% gubitka prinosa na globalnom nivou je posledica negativnih uticaja suše (Daryanto et al., 2016), stoga je ona jedan od glavnih problema moderne poljoprivrede širom sveta i jedan od najvažnijih faktora životne sredine koji utiče na rast, razvoj i proizvodnju useva (Hasanuzzaman et al., 2012). Uticaj suše na razvoj biljaka i prinos useva zavisi od njenog intenziteta i faze razvoja biljke u kojoj se ona javlja (Bayoumi et al., 2008). Smatra se da su klijanje i rast klijanaca najkritičnija faza rasta za uspešno uspostavljanje useva, naročito u uslovima vodnog stresa (Qayyum et al., 2011). Tolerantnost na sušu u fazi klijanja veoma je važna, jer nedostatak vlage u zemljištu u vreme setve može rezultirati sporim nicanjem klijanaca ili njihovim potpunim propadanjem, što će onda kasnije uticati na prinos (Mwale et al., 2003). Uz to, pokazano je da je tolerantnost genotipova na sušu u fazi klijanaca u velikoj meri povezana sa tolerantnošću odraslih biljaka u poljskim uslovima (Khakwani et al., 2012; Moud and Maghsoudi, 2008; Dodig i sar., 2015), te ocena genotipova pšenice u ranoj fazi razvika može biti moćan alat u oplemenjivanju pšenice za otpornost na sušu.

Ocena tolerantnosti genotipova na sušu u fazi klijanaca može se izvršiti upotrebom hemijskog jedinjenja – polietilen-glikola (PEG-6000) u hidroponskim uslovima uzgajanja biljaka. To je najšestće korišćena hemikalija za simulaciju prirodnog stresa izazvanog sušom u *in vitro* metodama skrininga (Belay et al., 2021). Pošto PEG smanjuje potencijal vode u medijumu, odnosno

povećava osmotski potencijal, voda izlazi iz ćelije (Bayoumi et al., 2008) i na taj način PEG imitira suvo tlo (Veslues et al., 1998). Primena PEG-a u hidroponskom rastvoru izaziva osmotski stres, što rezultira promenama vodnog statusa tkiva i smanjenjem rasta biljaka i proizvodnje biomase (Kicheva et al., 1994; Grzesiak et al., 2003). Pokazatelji tolerantnosti ili osetljivosti genotipova na indukovani osmotski stres su indeksi stresa (Fernandez, 1992). Indeksi stresa ukazuju na nivo suše na osnovu gubitka prinosa u uslovima stresa u odnosu na optimalne uslove (Mitra, 2001). Fischer i Maurer (1978) su definisali indeks osetljivosti na stres – *stress susceptibility index* (SSI) koji se zasniva na minimiziranju smanjenja prinosa pod stresnim uslovima u odnosu na povoljne uslove sredine. Fernandez je 1992. definisao indeks tolerantnosti na stres – *stress tolerance index* (STI) koji se može koristiti za identifikaciju genotipova koji daju visoke prinose i u optimalnim i u stresnim uslovima. Kada će se koji selekcionni indeks stresa iskoristiti, zavisi od intenziteta suše (Dodig, 2010). SSI se predlaže kao korisni indikator gde je stres usled suše ozbiljan, dok se STI predlaže za uslove gde je stres manji, umeren, kakav je bio i u ovoj studiji (Sio-Se Mardeh et al., 2006). Ipak, Dodig i saradnici (2008) su pokazali da SSI može biti koristan selekcionni indeks i u uslovima umerenog stresa usled suše.

Cilj ovog istraživanja bio je da se kroz izračunate indekse stresa izdvoje najbolji genotipovi – najtolerantniji na primenjeni osmotski stres u fazi klijanaca, a u cilju njihovog uključivanja u dalji proces selekcije i oplemenjivačke programe čiji je cilj stvaranje prinostnijih sorti pšenice tolerantnih na sušu. Takođe, dobijeni rezultati bi se mogli ekstrapolirati i na kasnije faze razvoja, s obzirom na to da je ocena genotipova u kasnijim fazama porasta biljaka, naročito u polju, daleko teža i kompleksnija.

Materijal i metode

Biljni materijal

U radu je korišćeno 11 roditeljskih genotipova hlebne pšenice koji su odabrani na osnovu rezultata prethodnog istraživanja Blažić i saradnika (2021), kao i Blažić (2022) u kom je

na osnovu morfoloških osobina korena i stabla izvršena ocena 101 genotipa hlebne pšenice iz kolekcije Instituta za kukuruz "Zemun Polje", poreklom iz Srbije i različitih delova sveta, i

osam genotipova F1 generacije dobijenih njihovim ukrštanjima. Tih ukupno 19 genotipova (11 roditeljskih i 8 F₁ generacije) je korišćeno

u ovom radu, a njihovi nazivi/oznake i zemlje porekla prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1. Naziv/oznaka i zemlja (oznaka prema www.fao.org/countryprofiles) porekla 19 genotipova pšenice korišćenih u istraživanju

Table 1. Names / designations and country (designation according to www.fao.org/countryprofiles) of origin of 19 wheat genotypes used in the study

Redni broj	Naziv/oznaka genotipa	Zemlja porekla (oznaka)
1	Brigant	VelikaBritanija (GBR)
2	CHI-4	Kina (CHN)
3	Dika	Srbija (SRB)
4	Donska semi-dwarf	Rusija (RUS)
5	Euklid	Francuska (FRA)
6	Phoenix	SjedinjeneAmeričkeDržave (USA)
7	Ingenio	Francuska (FRA)
8	NS 40S	Srbija (SRB)
9	Pobeda	Srbija (SRB)
10	WWBMC2	SjedinjeneAmeričkeDržave (USA)
11	ZemunskaRosa	Srbija (SRB)
12	F1 (Dika x Ingenio)	SRB x FRA
13	F1 (Dika x Donska)	SRB x RUS
14	F1 (Euklid x CHI-4)	FRA x CHN
15	F1 (Phoenix x NS 40S)	USA x SRB
16	F1 (Pobeda x Brigant)	SRB x GBR
17	F1 (Pobeda x Donska)	SRB x RUS
18	F1 (WWBMC2 x Ingenio)	USA x FRA
19	F1 (Zemunska Rosa x Ingenio)	SRB x FRA

Uzgajanje klijanaca odabranih genotipova pšenice u uslovima sa i bez osmotskog stresa

Semena 19 odabranih genotipova su naklijavana na filter papiru natopljenom destilovanom vodom u trajanju od 4 dana na temperaturi od 20°C. Nakon toga je po 15 ujednačenih proklijalih semena svakog genotipa postavljeno u rizikutiju dimenzija 38 x 29 x 11 cm koja je na sredini bila pregrađena plastičnom pregradom. U jednoj polovini kutije nalazila se vodena hranljiva kultura koja je podrazumevala kontrolu – u toj polovini klijanci su gajeni u odsustvu stresa do kraja eksperimenta. Vodena hranljiva kultura

bila je modifikovani Knopov rastvor sledećeg sastava i koncentracije: 14,4 g l⁻¹ Ca(NO₃)₂ x 4H₂O; 2,5 g l⁻¹ KNO₃; 9,5 g l⁻¹ (NH₄)₂ SO₄; 1,2 g l⁻¹ KCL; 2,5 g l⁻¹ KH₂PO₄; 4,7 g l⁻¹ MgSO₄ x 6H₂O, 5,07 g l⁻¹ MgSO₄ x 7H₂O, sa pH vrednošću rastvora između 5,6 i 5,8. Klijanci su postavljeni tako da je kompletan korenov sistem bio potopljen u vodenoj hranljivoj kulturi. U drugoj polovini kutije genotipovi su prvo gajeni samo u hranljivoj kulturi tri dana od postavljanja ogleada, a onda je sedmog dana od početka naklijavanja

dodat PEG-6000 u količini koja izaziva umereni stres usled isušivanja, a prema metodi koju su opisali Michel i Kaufmann (1973) što je rezultiralo osmotskim potencijalom rastvora od -0,4 MPa. Rizokutija je sa svih strana bila obložena tamnim krep papirom i povezana sa pumpicom

za kiseonik, nakon čega je postavljena u komoru za kontrolisani rast biljaka – fitotron, model KBW 720, Binder GmbH, sa mogućnošću podešavanja temperature, vlažnosti i osvetljenosti. Rast klijanaca u fitotronu bez i sa osmotskim stresom prikazan je na Slici 1.



Slika 1. Rast klijanaca u fitotronu (leva polovina kutije – kontrola; desna polovina – tretman PEG-6000-om)

Picture 1. Growth of seedlings in the phytotron (left half of the box – control; right half – treatment with PEG-6000)

Režim rada fitotrona je bio sledeći: prvih 11h u fitotronu je bilo svetlosti na temperaturi od 20°C; sledeći sat temperatura se u mraku spuštala sa 20°C na 16°C; narednih 11h u komori je bio mrak na temperaturi od 16°C, nakon čega se sledeći sat temperatura u svetlosti povećavala sa 16°C na 20°C. Relativna vlažnost vazduha bila je 75%. Postavljeni režim rada fitotrona simulirao je promenu spoljašnjih uslova sredine u toku dana i noći. Nakon završena 24h, ciklus se ponavljao. Klijanca su gajeni u fitotronu 10 dana

nakon čega je rizokutija izvađena iz fitotrona. Od svakog genotipa odabrano je 10 reprezentativnih klijanaca na kojima je odvojen koren od nadzemnog dela biljke pri čemu je koren klijanaca koji su gajeni u uslovima osmotskog stresa dobro opran pod mlazom vode kako bi se skinuli lepljivi molekuli PEG-6000-a i kako se ne bi uticalo na rezultate merenja – težinu korena. Potom je biljni materijal sušen u termostatu 96h na 60°C, nakon čega su na analitičkoj vagi izmerene suva masa korena i stabla.

Statistička analiza

Kako ova studija nije uključivala obračun prinosa i merenje komponenti, indeksi stresa su izračunati ekstrapolacijom prinosa na ukupnu biomasu biljaka. Indeksi osetljivosti i

tolerantnosti na stres izračunati su na osnovu srednjih vrednosti ukupne biomase 19 genotipova pšenice u optimalnim i stresnim uslovima, pri čemu je ukupna biomasa predstavljena kao

težina ukupne suve materije biljke (suva masa korena i suva masa stabla). Indeks osetljivosti na stres (SSI), (Fischer i Maurer, 1978) za ispitivane genotipove pšenice uzgajane pri osmotskom stresu izračunat je kao:

$$SSI = 1 - \frac{Y_S}{Y_P}$$

gde su:

- Y_S i Y_P vrednosti ukupne biomase za dati genotip u uslovima sa i bez osmotskog stresa,

- $SI = 1 - \frac{\hat{Y}_S}{\hat{Y}_P}$ intenzitet stresa,

- \hat{Y}_S i \hat{Y}_P srednje vrednosti ukupne biomase za sve genotipove u uslovima sa i bez osmotskog stresa.

Indeks tolerantnosti na stres (STI), (Fernandez, 1992) izračunat je kao:

$$STI = \frac{Y_P Y_S}{(\hat{Y}_P)^2}$$

Tabela 2. Srednje vrednosti ukupne biomase u uslovima bez stresa (Y_p) i stresnim uslovima (Y_s), % smanjenja ukupne biomase pri primenjenom tretmanu PEG-om (Δ), indeks osetljivosti na stres (SSI) i indeks tolerantnosti na stres (STI) 19 genotipova pšenice

Table 2. Mean values of total biomass in non-stressed conditions (Y_p) and stressed conditions (Y_s), % reduction of total biomass in the applied PEG treatment (Δ), stress susceptibility index (SSI) and stress tolerance index (STI) of 19 wheat genotypes

R.br	Genotip	Y_p	Y_s	Δ (%)	Rang	SSI	Rang	STI	Rang
1	Brigant	31,2	25,9	16,99	5	1,62	4	0,93	8
2	CHI-4	29,7	25,7	13,47	6	1,28	6	0,88	12
3	Dika	29,7	26,2	11,78	9	1,12	8	0,89	10
4	Donska semi-dwarf	30,9	27,5	11,00	8	1,05	9	0,97	5
5	Euklid	29,3	25,6	12,63	7	1,20	7	0,86	14
6	Phoenix	32,2	30,0	6,83	12	0,65	12	1,11	1
7	Ingenio	33,5	26,1	22,09	2	2,10	2	1,00	2
8	NS 40S	27,8	22,3	19,78	3	1,88	3	0,71	18
9	Pobeda	30,9	22,8	26,21	1	2,49	1	0,81	16
10	WWBMC2	27,0	24,7	8,52	10	0,81	10	0,76	17
11	Zemunska Rosa	30,5	25,2	17,38	4	1,56	5	0,88	12
12	F1 (Dika x Ingenio)	29,9	29,0	3,01	17	0,29	17	0,99	3
13	F1 (Dika x Donska)	27,9	27,2	2,52	19	0,24	19	0,87	13
14	F1 (Euklid x CHI-4)	29,9	28,6	4,35	14	0,41	14	0,98	4
15	F1 (Phoenix x NS 40S)	27,2	26,3	3,31	15	0,31	15	0,82	15
16	F1 (Pobeda x Brigant)	25,6	23,9	6,64	13	0,63	13	0,70	19
17	F1 (Pobeda x Donska)	28,7	27,8	3,14	16	0,30	16	0,91	9
18	F1 (WWBMC2 x Ingenio)	28,9	28,1	2,77	18	0,26	18	0,93	8
19	F1 (Zemunska Rosa x Ingenio)	30,2	27,8	7,95	11	0,76	11	0,96	6
Prosek		29,5	26,4	10,55					

Rezultati i diskusija

Srednje vrednosti ukupne biomase u uslovi- ma bez (Y_p) i sa osmotskim stresom (Y_s), proce- nat smanjenja ukupne biomase pri primenjenom tretmanu (Δ), indeks osetljivosti na stres (SSI) i indeks tolerantnosti na stres (STI), 19 ispitivanih genotipova pšenice prikazani su u Tabeli 2.

SSI je imao vrednosti u intervalu od 0,24 kod F1 potomstva Dika x Donska, do 2,49 kod genotipa Pobeda. Na osnovu ovog indeksa stresa najmanje osetljivo, tj. najotpornije na stres pokazalo se F1 potomstvo Dika x Donska (0,24), a za njim su sledila F1 potomstva sledećih ukrštanja: WWBMC2 x Ingenio (0,26), Dika x Ingenio (0,29), Pobeda x Donska (0,30), Phoenix x NS 40S (0,31), Euklid x CHI-4 (0,41), Phoenix (0,62), Pobeda x Brigant (0,63), Zemunska Rosa x Ingenio (0,76), WWBMC2 (0,81). Kao najosetljiviji na stres izdvojio se genotip Pobeda (2,49), a zatim Ingenio (2,10), NS 40S (1,88), Brigant (1,62), Zemunska Rosa (1,56), CHI-4 (1,28), Euklid (1,20), Dika (1,12) i Donska semi-dwarf (1,05). Sve kombinacije ukrštanja pokazivale su vrednost SSI indeksa manju od jedan, dok je prosečna vrednost iznosila 0,40 (Tabela 2). Guttieri i saradnici (2001) ističu da vrednosti SSI indeksa manje od jedinice ukazuju na nisku osetljivost na sušu, odnosno visoku stabilnost prinosa, dok vrednosti veće od jedinice ukazuju na visoku osetljivost na sušu, tj. manju stabilnost prinosa. Genotipovi sa vrednostima SSI indeksa manjim od jedan smatraju se tolerantnim na sušu, jer je njihovo smanjenje prinosa u uslovima suše manje od srednjeg smanjenja prinosa svih ispitivanih genotipova (Sio-Se Mardeh et al., 2006). Sa druge strane, vrednosti SSI indeksa roditeljskih genotipova (osim genotipa Phoenix i WWBMC2) bile su veće od jedan i u proseku iznosile 1,43. To govori da je izbor roditelja za kombinaciona ukrštanja u istraživanju Blažić i saradnika (2021) bio dobar i da je dobijeno potomstvo bilo tolerantnije na osmotski stres u odnosu na roditeljske genotipove (Blažić, 2022).

STI je imao vrednosti u intervalu od 0,70 kod F1 potomstva ukrštanja Pobeda x Brigant, do 1,11 kod genotipa Phoenix. STI izdvaja one genotipove koji daju najveće prinose (ukupnu

biomasu) u optimalnim uslovima, kada ne po- stoji vodni deficit, dok u uslovima suše imaju najmanje smanjenje prinosa (ukupne biomase). Genotipovi sa visokim vrednostima STI imaju dobre prinose (visoke vrednosti ukupne bio- mase) i u optimalnim i u stresnim uslovima, dok niske vrednosti STI ukazuju na smanjenje prinosa (ukupne biomase) u stresnim, u odnosu na optimalne uslove. Kako su najniže vrednosti indeksa tolerantnosti na stres (STI) imali F1 potomstvo ukrštanja Pobeda x Brigant (0,70), kao i genotipovi NS 40S (0,71) i WWBMC2 (0,76), oni su pokazali niske vrednosti ukupne biomase u uslovima bez stresa i njeno značajno smanjenje u uslovima osmotskog stresa pri pri- menjenom tretmanu PEG-om. Sa druge strane, najviše vrednosti ovog indeksa zabeležene su kod genotipa Phoenix (1,11) i Ingenio (1,00), za koje se pokazalo da imaju visok potencijal za proizvodnju ukupne biomase u uslovima bez stresa, dok je njeno smanjenje u stresnim uslovima bilo zadovoljavajuće (Tabela 2).

Razlike genotipova u ukupnoj biomasi u uslovima sa i bez stresa ukazivale su na njihovu diferencijalnu tolerantnost i osetljivost na stres što se može objasniti smanjenjem ukupne bio- mase kao i indeksima stresa. Genotipovi Pobeda i Ingenio su pokazali najveće smanjenje ukupne biomase u stresnim uslovima pri primenjenom tretmanu PEG-om (26,21% i 22,09%) što znači da su bili veoma osetljivi na stres (Tabela 2). O tome govore i njihove visoke vrednosti SSI indek- sa. Međutim, ovi genotipovi su pokazali i visoke vrednosti STI indeksa, što znači da imaju visok potencijal za proizvodnju ukupne biomase u op- timalnim, a zadovoljavajući u stresnim uslovima sredine. Nasuprot njih, F1 potomstvo ukrštanja Pobeda x Brigant je pokazalo relativno nisku vrednost STI indeksa, i takođe nisku vrednost SSI indeksa. Za njega se može reći da nema visok potencijal za proizvodnju ukupne biomase, ali ima nisku osetljivost na stres. Smanjenje ukupne biomase usled dejstva primenjenog tretmana PEG-om kod ovog genotipa nije bilo veliko (6,64%). Prosečna vrednost smanjenja ukupne biomase svih genotipova pri primenjenom tre-

tmanu PEG-om iznosila je 10,55 što potvrđuje gore navedenu činjenicu da je izazvani osmotski stres bio umeren. Pet genotipova F1 generacije: Dika x Donska, WWBMC2 x Ingenio, Dika x Ingenio, Pobeda x Donska, Phoenix x NS 40S su imali najmanje smanjenje ukupne biomase pri primenjenom tretmanu (2,52%; 2,77%; 3,01%; 3,14%; 3,31%, respektivno). Njihove niske vrednosti SSI indeksa i visoke vrednosti STI indeksa ukazuju da ovi genotipovi imaju ujednačenu

superiornost i u stresnim i u optimalnim uslovima. Odabrani roditeljski genotipovi sa područja Srbije (Pobeda, Zemunska Rosa i NS 40S) imali su visoke vrednosti STI i SSI indeksa, čime se potvrđuju rezultati ranijih istraživanja na pšenici (Dodig i sar., 2008; Blažić, 2022), da su genotipovi sa ovih prostora sa visokim potencijalom za proizvodnju ukupne biomase, ali i visokom osetljivošću na vodni deficit.

Zaključak

Indeksi stresa ispitivanih 19 genotipova pšenice su pokazali da su najosetljiviji na indukovani osmotski stres u fazi klijanaca bili genotipovi Pobeda i Ingenio. Međutim, ovi genotipovi su pokazali visok potencijal za proizvodnju ukupne biomase u optimalnim uslovima, i zadovoljavajući u stresnim. Najmanje osetljivim na osmotski stres u fazi klijanaca pokazalo se F1 potomstvo ukrštanja Dika x Donska. Ispitivani genotipovi sa područja Srbije (Pobeda, Zemunska Rosa i NS 40S) pokazali su visoku osetljivost na osmotski stres i visok potencijal za proizvodnju ukupne biomase. Pet genotipova F1 generacije se izdvojilo kao superiorno u fazi klijanaca i u optimalnim, i u uslovima osmotskog stresa: Dika x Donska, WWBMC2 x Ingenio, Dika x Ingenio,

Pobeda x Donska, Phoenix x NS 40S. Ove genotipove bi trebalo iskoristiti kao donore poželjnih alela, koji determinišu osobine od interesa, koje doprinose većoj tolerantnosti na stresne uslove sredine, odnosno vodni deficit za neke buduće programe oplemenjivanja, a u cilju unapređenja produktivnosti pšenice i tolerantnosti na sušu u uslovima klimatskih promena. Nastavak ove studije bilo bi testiranje roditeljskih i F1 genotipova u poljskim uslovima do faze pune zrelosti i merenje komponenti prinosa kako bi se stekla još realnija slika o mogućnostima da se na osnovu testiranja biljaka u ranim fazama porasta predvidi njihova produktivnost u poljskim uslovima stresa.

Zahvalnica

Ova studija je bila deo izrade doktorske disertacije prvog autora koji se zahvaljuje Banci biljnih gena Direkcije za nacionalne referentne laboratorije pri Ministarstvu poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede, na obezbeđenoj opremi i prostorijama za izvođenje eksperimentalnog dela ove studije. Takođe, veliku zahvalnost duguje i Institutu za kukuruz "Zemun Polje" za obezbeđene genotipove hlebne pšenice korišćene

u ovoj studiji. Najveću zahvalnost prvi autor duguje svom mentoru na izradi ovog istraživanja i doktorske disertacije dr Dejanu Dodigu koji je preminuo nakon završetka ovog istraživanja, a pre pisanja rada. Ovo istraživanje bilo je deo projekta podržanog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Grant No. TR31005).

Literatura

- Bayoumi TY, Eid MH, Metwali EM(2008): Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 7(14): 2341-2352.
- Belay GA, Zhang Z, Xu P (2021): Physio-morphological and biochemical trait-based evaluation of Ethiopian and Chinese wheat germplasm for drought tolerance at the seedling stage. *Sustainability*, 13(9): 4605.

- Blažić M (2022): Ocena genotipova pšenice na osnovu osobina korena i stabla klijanaca kao potencijal za oplemenjivanje. Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu
- Blažić M, Dodig D, Kandić V, Đokić D, Živanović T (2021). Genotypic variability of root and shoot traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) at seedling stage. *Genetika*, 53(2): 687-702.
- Braun HJ, Dixon J, Crouch J, Payne T (2008): Wheat research to serve the future needs of developing world: In: Proceedings of the International Symposium 'Conventional and Molecular Breeding of Field and Vegetable Crops'. 24-27 Novembar, Novi Sad, Srbija, 28-32.
- Daryanto S, Wang L, Jacinthe PA (2016): Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PLoS One* 11: e0156362. Available in <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156362> (25 May, 2016).
- Dodig D (2010): Wheat breeding for drought resistance. Serbian Genetic Society, Belgrade, Serbia: 1-136.
- Dodig D, Zorić M, Knežević D, King SR, Šurlan-Momirović G (2008): Genotype × environment interaction for wheat yield in different drought stress conditions and agronomic traits suitable for selection. *Australian Journal of Agriculture Research*, 59(6): 536-545.
- Dodig D, Zorić M, Jović M, Kandić V, Stanisavljević R, Šurlan-Momirović G (2015): Wheat seedlings growth response to water deficiency and how it correlates with adult plant tolerance to drought. *Journal of Agricultural Science*, 153(3): 466-480.
- Fernández GCJ (1992): Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the International Symposium on "Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress". 13-16 August, Taiwan, 257-270.
- Fischer RA, Maurer R (1978): Drought resistance in spring wheat cultivars: I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29(5): 897-912.
- Grzesiak S, Grzesiak MT, Filek W et al. (2003): Evaluation of physiological screening tests for breeding drought resistant triticale (x *Triticosecale* Wittmack). *Acta Physiologiae Plantarum*, 25(1): 29-37.
- Günther F, van Velthuizen H, Nachtergaele FO (2000): Global agroecological zones assessment: methodology and results. Interim report IR-00-064., IIASA- International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria and Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, Rome, Italy.
- Guttieri MJ, Stark JC, Brien K, Souza E (2001): Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop Science*, 41(2): 327-335.
- Hasanuzzaman M, Hossain MA, Teixeira da Silva JA, Fujita M (2012): Plant response and tolerance to abiotic oxidative stress: antioxidant defence is a key factor V. Bandi, A.K. Shanke, C, Shanker M, Mandapaka (Eds.), *Crop Stress and its Management: Perspectives and Strategies*. Springer, Dordrecht, Netherlands, 261-315.
- Khakwani AZ, Dennett M, Munir M, Abid M (2012): Growth and yield response of wheat varieties to water stress at booting and anthesis stages of development. *Pakistan Journal of Botany*, 44(3): 879-886.
- Kicheva MI, Tsonev TD, Popova LP (1994): Stomatal and nonstomatal limitations to photosynthesis in two wheat cultivars subjected to water stress. *Photosynthetica*, 30(1): 107-116.
- Michel BE, Kaufmann MR (1973): The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 51(5): 914-916.
- Mitra J (2001): Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science*, 80(6): 758-762.
- MoudAM & Maghsoudi K (2008): Application of coleoptile growth response method to differentiate osmoregulation capability of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Research Journal of Agronomy*, 2(2): 36-43.
- Mwale S, Hamusimbi C, Mwansa K (2003): Germination, emergence and growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in response to osmotic seed priming. *Seed Science and Technology*, 31(1): 199-206.

- Qayyum A, Razzaq A, Ahmad M, Jenks MA (2011): Water stress causes differential effects on germination indices, total soluble sugar and proline content in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 10(64): 14038-14045.
- Richard CA, Hickey L, Fletcher S, Jennings R, Chenu K, Christopher JT (2015): High-throughput phenotyping of seminal root traits in wheat. *Plant Methods*, 11: 13. Available in: <https://doi.org/10.1186/s13007-015-0055-9> (1 March, 2015).
- Salamini F, Ozkan H, Brandolini A, Schaffer-Pregl R, Martin W (2002): Genetics and geography of wild cereal domestication in the Near East. *Nature Reviews genetics*, 3 (6):429-441.
- Shewry PR (2009): Wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60 (6): 1537-1553.
- Sio-Se Mardeh A, Ahmadi A, Poustini K, Mohammadi V (2006): Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research*, 98(2-3): 222-229.
- Veslues P, Ober E, Sharp R (1998): Root growth and oxygen relations at low water potentials. Impact of oxygen availability in polyethylene glycol solutions. *Plant Physiology*, 116(4): 1403-1412.

EVALUATION OF WHEAT GENOTYPES TOLERANCE TO INDUCED OSMOTIC STRESS AT THE SEEDLING STAGE

Milica Blažić, Vesna Kandić, Gordana Branković, Tomislav Živanović

Summary

The paper evaluated the tolerance of 19 wheat genotypes in the seedling stage grown in hydroponic conditions to induced osmotic stress. Desiccation osmotic stress simulating natural drought stress was induced using the chemical compound polyethylene glycol (PEG-6000). Tolerance of genotypes to induced osmotic stress is shown by stress indices: stress tolerance index (STI) and stress sensitivity index (SSI). The most sensitive to induced osmotic stress were the Pobeda and Ingenio genotypes, whose SSI index values were 2,49 and 2,10. The most tolerant to osmotic stress was the F1 progeny Dika x Donska with an SSI index value of 0,24. The highest values of the STI index were recorded in the Phoenix (1,11) and Ingenio (1,00) genotypes, while the genotypes Pobeda x Brigant (0,70), NS 40S (0,71) and WWBMC2 (0,76) had the three lowest STI index values. Five F1 genotypes stood out as superior in both optimal and osmotic stress conditions: Dika x Donska, WWBMC2 x Ingenio, Dika x Ingenio, Pobeda x Donska, Phoenix x NS 40S. The examined genotypes from the territory of Serbia (Pobeda, Zemunska Rosa and NS 40S) showed a high sensitivity to osmotic stress and a high potential for large biomass production.

Key words: bread wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings, hydroponics, PEG-induced osmotic stress, stress sensitivity index (SSI), stress tolerance index (STI)

Primljen: 14.05.2023.
Prihvaćen: 29.05.2023.