

TERMODINAMIČKA KARAKTERIZACIJA KLIJANACA PŠENICE POREKLOM IZ SEMENA SA RAZLIČITIH PARCELA

Dragičević Vesna^{1*}, Ivanović Dragica¹ Milivojević Marija¹, Đukanović Lana²

Izvod

Brojni faktori utiču na klijavost semena pšenice, među koje spada i lokacija. Početni rast klijanaca predstavlja rezultat energetske transformacije i konverzije semene supstance. Cilj ogleada je bio da se ispituju razlike u klijavosti i razvoju klijanaca pšenice poreklom iz semena dobijenog sa **pet** različitih parcela (koje imaju slične osobine), uz primenu termodinamičkih parametara slobodne energije i entropije. Variranje u energiji klijanja i ukupnoj klijavosti semena pšenice nije bilo veće od 10%. Nakon **osam** dana od početka testiranja klijavosti kod većine klijanaca je odnos između korena i izdanka na nivou sveže i suve materije bio 1:1, dok je jedino kod klijanaca poreklom iz semena samo sa jedne parcele ovaj odnos na nivou sveže materije bio skoro 1:2, a na nivou suve materije 1,5:1. Navedene razlike mogu biti posledica različitog iskorišćenja energije od strane samog klijanca. Intenziviranje hidrolize, na bazi spontanih reakcija, kao i povećane uređenosti kod klijanaca starih **četiri** dana bi moglo da rezultira nešto većom ukupnom klijavošću. Sa druge strane, variranja u energetske potencijalu, stepenu uređenosti sistema i hidrolizi semene supstance ne moraju da se odraze i na biosintetske reakcije u korenu i izdanku. Navedeni podaci upućuju da su variranja u rastu klijanaca poreklom iz semena sa različitih parcela uglavnom vezana za variranja energetske potencijala koji je unet sa vodom, a ne i sintetisane supstance klijanaca. Minimalne razlike između pojedinačnih parcela mogu uticati na kvalitet proizvedenog semenskog materijala, što je posebno naglašeno primenom termodinamičkih parametara, kao pokazatelja kvaliteta.

Ključne reči: slobodna energija, entropija, klijanje, klijanca, pšenica

* Originalni naučni rad

¹Dragičević V., Ivanović D., Milivojević M., Institut za kukuruz „Zemum Polje“, Slobodana Bajića 1, 11185 Zemum Polje

²Đukanović L., Institut za zaštitu bilja i životnu sredinu, Teodora Drajzera 9, 11000 Beograd

*E-mail: vdragicevic@mripz.rs

Uvod

Vigor ili životna sposobnost semena opisuje njegove fiziološke karakteristike koje mu omogućavaju da brzo klija u zemljištu i da bude tolerantno prema različitim, uglavnom negativnim faktorima okoline (Lekić, 2001; Milošević i sar., 2010). Brojni faktori utiču na klijavost, kao deo životne sposobnosti semena pšenice, kao što su đubrenje, plodored, klimatski uslovi, fizičke osobine semena, lokacija (Molnar i sar., 2005; Mladenov i Milošević, 2011). Sabovljević i sar. (2010) su utvrdili značajne razlike u pogledu energije i ukupne klijavosti različitih frakcija semena pšenice proizvedene na različitim parcelema u okviru PKB korporacije.

S obzirom na to da je klijanje prevashodno vezano za određeni termički raspon i prisustvo dovoljne količine vlage, moglo bi se pretpostaviti da klijanje ima određene energetske karakteristike. Živi sistemi transformišu energiju u **materiju** kroz metaboličke procese, tj. imaju kontrolisan kapacitet da transformišu energiju, prema prvom zakonu termodinamike. Ove transformacije podrazumevaju i određene gubitke u vidu toplote, prema drugom zakonu termodinamike (Dragicevic and Sredojevic, 2011). Boyer (1969), Kikuchi i sar. (2006) su kvantifikovali transport vode kod biljaka kao promenu energije, dok je Sun (2002) opisao input slobodne energije putem vode kao primarni faktor rastenja biljaka. Prema Hesovom zakonu, slobodna energija je kumulativna, bez obzira na njeno poreklo, proizilazeći iz dvostrukog faznog prelaska vode i oslobađanja iz metaboličkih procesa. Za razliku od slobodne energije, entropija je veličina stanja koja se može posmatrati kao mera vezane energije nekog sistema. Ujedno ona predstavlja meru neuređenosti sistema. Svi spontani procesi se odigravaju u smeru porasta

entropije, dok živi sistemi rastu i razvijaju se na negativnoj entropiji. Paralelno sa energetske transformacijama, početni rast klijanaca predstavlja rezultat konverzije supstance semenog ostatka kod monokotiledonih biljaka (Dragičević i Sredojević, 2011).

Cilj ogleđa je bio da se ispituju razlike u klijavosti i razvoju klijanaca pšenice poreklom iz semena dobijenog sa različitih parcela (koje su bile sličnih osobina), uz primenu termodinamičkih parametara, kao univerzalne mere promene energetske stanja sistema.

Materijal i metode rada

Seme pšenice (sorta Takovčanka) poreklom sa **pet** različitih parcela eksperimentalnog polja Instituta za kukuruz „Zemun Polje“ bilo je podvrgnuto testu klijavosti sa **prethodnim hlađenjem radi prekidanja mirovanja semena** (ISTA, 2006). Sve navedene parcele su za podlogu imale zemljište tipa slabokarbonatni černozem i bile su sličnih fizičko-hemijskih osobina (47 % glinovite frakcije, 53 % peskovite frakcije). U sloju od 0 – 30 cm nalazilo se 3,3 % organske materije; 0,21 % ukupnog N; 1,9 % organskog C; 14 i 31 mg 100 g⁻¹ pristupačnog P i ekstraktabilnog K; 9,7 % ukupnog CaCO₃ i pH 7,8.. Na svim parcelema su bile primenjene standardne agrotehničke mere, u isto vreme, dok je sadžaj pristupačnog azota bio određen po metodi Scharpf i Wehrmann (1975) u sloju od 0-90 cm i zahvaljujući približnom sadržaju na svim ispitivanim parcelama, bila je izvršena dopuna do 140 kg N ha⁻¹, u obliku uree.

Tokom testiranja klijavosti, nakon izvedenog hlađenja bila je merena sveža masa semena, a potom masa delova klijanaca nakon **četiri** i **osam** dana od početka naklijavanja. Nakon sušenja izmerenog semena i delova klijanaca na 60°C (vazdušno suvo) određen je

sadržaj slobodne vode i suve materije. Potom je biljni materijal bio sušen na 130°C, kako bi se odredio sadržaj hemijski vezane vode. Na osnovu sadržaja vazdušno suve materije bila je obračunata ukupna hidroliza i biosinteza prema sledećim formulama:

$$H_y = \text{Masa semena} - \text{Masa semenog ostatka}$$

$$B_s = \text{Masa korena} + \text{Masa izdanka}$$

Na osnovu sadržaja slobodne i hemijski vezane vode bili su obračunati termodinamički parametri slobodne energije i entropije, prema modelu predloženom od strane Davies (1961) i Sun (2002):

$$\Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G}{T}$$

$$\Delta H = \frac{R T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \left(\frac{a_{w1}}{a_{w2}} \right)$$

$$\Delta G = RT \ln(a_w)$$

Gde a_{w1} i a_{w2} predstavljaju sadržaj vode u biljnom tkivu dobijen nakon sušenja na određenoj temperature (T_1 i T_2), R je gasna konstanta ($8.3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), ΔG je diferencijalna slobodna energija, ΔH je diferencijalna entalpija potrebna za dobijanje ΔS , odnosno diferencijalne entropije.

Statistička obrada parametara energije klijanja, ukupne klijavosti, sveže i suve materije, kao i termodinamičkih parametara slobodne energije i entropije u semenu nakon

prekidanja mirovanja semena i delovima klijanaca je podrazumevala dobijanje standardne devijacije.

Rezultati i diskusija

Variranje energije i ukupne klijavosti semena pšenice dobijene sa različitih parcela nije bilo veće od 10%, s tim što je samo seme dobijeno na parceli 1 imalo najnižu ukupnu klijavost, dok je seme poreklom sa ostalih parcela imalo ujednačenu klijavost, sa ne većim variranjem od 4% (Tab. 1). Sabovljević i sar. (2010) su takođe utvrdili značajne razlike u pogledu energije i ukupne klijavosti semena pšenice proizvedene na različitim parcelama. Promene sveže i suve materije semena pšenice nakon **prekidanja mirovanja semena** nisu varirale više od 4% za svežu i 1,1% za suhu materiju, između različitih parcela. Takođe, nakon **četiri** dana od početka testiranja klijavosti nije bilo znatnije razlike u pogledu odnosa u sadržaju sveže i suve materije, tj. sva tri dela klijanaca su imala približno slične vrednosti sveže materije (46,3-53,9 mg), kao i suve materije na nivou korena i izdanka (5,5-6,6%) i ostatka semena (44,3-46,1%). Najniži sadržaj sveže materije korena i izdanka bio je kod klijanaca iz semena poreklom sa parcele 4, dok je najveći udeo suve materije korena i izdanka bio kod klijanaca poreklom iz semena sa parcele 3. Već nakon **osam** dana od početka testiranja klijavosti došlo je do pojave znatnih razlika u sadržaju sveže i suve materije: kod većine klijanaca je odnos između korena i izdanka na nivou sveže i suve materije bio 1:1, dok je jedino kod klijanaca poreklom iz semena sa parcele 2 ovaj odnos na nivou sveže materije bio skoro 1:2, a na nivou suve materije 1,5:1.

Tab 1. Ukupna klijavost, sadržaj sveže i suve materije u semenu pšenice nakon **prekidanja mirovanja**, kao i delovima klijanaca nakon **četiri**, odnosno **osam** dana naklijavanja

Tab. 1. Total germination, contents of fresh and dry substance in wheat seed after dormancy breakage, as well as in seedling parts after **four**, i.e. **eight** days of germination

Parcela	Energija klijanja	Ukupna klijavost	Razb. dorm.+dužina naklijavanja	Sveža materija (mg)			Suva materija (%)		
				6 dana	6+4 dana	6+8 dana	6 dana	6+4 dana	6+8 dana
1	85,0±2,0	83,9±2,5	Seme	117,0±4,5*			61,2±0,6		
			Koren		50,3±3,9	73,4±7,4		5,7±0,9	6,4±0,8
			Izdanak		50,8±1,3	85,0±2,3		6,3±0,2	6,9±0,1
			Ost. semena		47,4±1,1	37,6±1,9		46,1±0,3	26,2±1,6
2	94,0±1,5	94,7±1,6	Seme	121,7±2,4			61,2±0,3		
			Koren		53,1±1,7	47,0±3,9		5,5±0,4	9,7±1,9
			Izdanak		49,5±2,7	86,2±16,6		6,5±0,4	6,7±0,2
			Ost. semena		50,6±1,7	40,2±4,9		45,1±1,0	25,9±8,7
3	91,5±4,5	92,0±1,9	Seme	120,2±2,1			61,7±0,6		
			Koren		47,6±1,9	60,0±6,0		6,4±0,2	8,7±1,2
			Izdanak		48,5±1,3	80,6±14,5		6,3±0,2	7,6±0,3
			Ost. semena		49,0±0,8	41,6±3,7		45,2±0,2	21,2±8,1
4	92,2±3,1	93,2±1,9	Seme	121,0±2,3			60,8±0,2		
			Koren		46,3±1,6	60,0±7,7		5,9±0,3	7,4±0,8
			Izdanak		48,5±2,1	84,7±16,7		6,6±0,1	7,0±0,3
			Ost. semena		48,9±1,4	40,7±4,4		45,2±0,4	26,6±8,5
5	91,0±4,0	91,9±2,4	Seme	118,9±2,3			61,9±0,4		
			Koren		53,9±3,8	70,8±7,8		5,9±0,4	6,7±0,7
			Izdanak		48,5±1,0	80,3±14,4		6,4±0,2	7,0±0,4
			Ost. semena		48,0±0,7	38,1±4,7		44,3±0,5	27,2±7,7

*prosečna vrednost±SD (standardna devijacija)

Tab 2. Sadržaj slobodne energije i entropije u semenu pšenice nakon **prekidanja mirovanja**, kao i delovima klijanaca nakon **četiri** odnosno **osam** dana naklijavanja

Tab 2. The contents of free energy and entropy in wheat seed after dormancy breakage, as well as in seedling parts after **four**, i.e. **eight** days of germination

Parcela	ΔG (J mol ⁻¹)				ΔS (J mol ⁻¹)			
	Razb. dorm.+dužina naklijavanja	6 dana	6+4 dana	6+8 dana	6 dana	6+4 dana	6+8 dana	
1	Seme	-3,17±0,05*			-0,061±0,002			
	Koren		-0,20±0,030	-0,22±0,027		-0,027±0,001	-0,026±0,004	
	Izdanak		-0,22±0,006	-0,24±0,004		-0,028±0,001	-0,030±0,002	
2	Ost. semena		-2,07±0,021	-1,02±0,074		-0,053±0,001	-0,038±0,001	
	Seme	-3,17±0,03			-0,070±0,001			
	Koren		-0,19±0,013	-0,34±0,070		-0,030±0,001	-0,025±0,002	
	Izdanak		-0,22±0,016	-0,23±0,008		-0,032±0,002	-0,030±0,001	
3	Ost. semena		-2,01±0,456	-1,01±0,456		-0,041±0,001	-0,039±0,002	
	Seme	-3,22±0,05			-0,079±0,008			
	Koren		-0,22±0,007	-0,31±0,044		-0,030±0,001	-0,035±0,007	
	Izdanak		-0,22±0,006	-0,27±0,012		-0,030±0,001	-0,038±0,001	
4	Ost. semena		-2,02±0,012	-0,80±0,428		-0,039±0,004	-0,018±0,012	
	Seme	-3,14±0,02			-0,073±0,003			
	Koren		-0,20±0,012	-0,26±0,029		-0,028±0,001	-0,026±0,001	
	Izdanak		-0,23±0,002	-0,24±0,012		-0,031±0,001	-0,032±0,002	
5	Ost. semena		-2,02±0,028	-1,04±0,445		-0,039±0,002	-0,039±0,004	
	Seme	-3,23±0,04			-0,072±0,005			
	Koren		-0,20±0,015	-0,23±0,024		-0,031±0,001	-0,027±0,006	
	Izdanak		-0,22±0,007	-0,24±0,012		-0,030±0,001	-0,030±0,002	
Ost. semena		-1,96±0,031	-1,06±0,403			-0,036±0,005	-0,039±0,011	

*prosečna vrednost±SD (standardna devijacija)

Što se tiče termodinamičkih parametara kod semena nakon **prekidanja mirovanja**, nisu bile zabeležene znatnije razlike slobodne energije (variranje u granicama od 3%) između pojedinih parcela (Tab. 2), dok je većih variranja bilo na nivou entropije (variranje u granicama od 23%, između semena poreklom sa parcela 1 i 3). Kod klijanaca starih **četiri** dana vrednosti slobodne energije su varirale između -0,19 (parcela 2, koren) i -0,23 J mol⁻¹ (parcela 4, izdanak), i entropije između -0,027 J mol⁻¹ (parcela 1, koren) i -0,032 J mol⁻¹ (parcela 2, izdanak). Za razliku od korena i izdanaka, variranja vrednosti slobodne energije su bila izraženija kod semenog ostatka: od -1,96 (parcela 5) do -2,07 J mol⁻¹ (parcela 1). Ovakva situacija je razumljiva, s obzirom na to da živi sistemi rastu na negativnim vrednostima slobodne energije, što prema Davies (1961) i Sun (2002) ukazuje na visoku spontanost prisutnih hemijskih reakcija (egzergonične) koje se intenzivnije

odvijaju u semenom ostatku u odnosu na koren i izdanak. O visokoj biohemijskoj aktivnosti prisutnoj u ovom periodu u semenom ostatku svedoče i niže vrednosti entropije (Dragičević i Sredojević, 2011), u odnosu na koren i izdanak, koje su varirale između -0,036 (parcela 5) i -0,053 (parcela 1). Takođe bi bilo važno istaći da su najveće vrednosti hidrolize (Tab. 3) bile zabeležene upravo na ove dve parcele, što bi zahvaljujući drugačijoj hidrataciji (Tab. 1), a prema termodinamičkim parametrima moglo ukazivati da visoku spontanost ali i tendenciju ka većoj uređenosti sistema (Davies, 1961, Dragičević i Sredojević, 2011) kod klijanaca poreklom iz semena sa parcele 1, dok je kod semenog ostatka klijanaca poreklom sa parcele 5 bila izražena manja spontanost reakcija uz veću neuređenost, odnosno potencijalno veći energetska kapacitet sistema, koji ne mora biti iskorišten za rad (II princip termodinamike).

Nešto veće razlike u pogledu termodinamičkih parametara su bile prisutne

Tab 3. Vrednosti hidrolize i biosinteze u semenu pšenice nakon **prekidanja mirovanja**, kao i delovima klijanaca nakon **četiri**, odnosno **osam** dana naklijavanja

Tab. 3. The values of hydrolisis and biosynthesis in wheat seed after dormancy breakage, as well as in seedling parts after **four**, i.e. **eight** days of germination

Parcela	Razb. dorm.+dužina naklijavanja	Hy (mg)			Bs (mg)	
		6 dana	6+4 dana	6+8 dana	6+4 dana	6+8 dana
1	Seme	3,71±1,10*				
	Biljka		58,76±3,19	69,56±1,63	9,86±0,48	14,60±0,21
2	Seme	1,75±0,13				
	Biljka		57,34±1,33	73,16±7,17	9,65±0,40	14,44±2,19
3	Seme	1,72±0,44				
	Biljka		57,90±1,69	69,72±5,36	9,82±0,30	14,29±2,08
4	Seme	1,76±0,64				
	Biljka		57,11±2,07	69,57±6,11	9,55±0,39	14,28±0,39
5	Seme	1,69±0,75				
	Biljka		58,20±1,43	69,97±5,27	9,71±0,12	14,22±2,20

*prosečna vrednost±SD (standardna devijacija)

kod korena i izdanka klijanaca starih **osam** dana (Tab. 2). Kod većine klijanaca su se vrednosti slobodne energije smanjile za 0,02-0,04 J mol⁻¹ u odnosu na **četvrti** dan, dok je jedino kod korena klijanaca poreklom iz semena sa parcele 2 vrednost od -0,19 J mol⁻¹ (klijanci stari **četiri** dana) pala na -0,34 J mol⁻¹. Paralelno sa ovim trendom i na nivou entropije je došlo do povećanja vrednosti sa -0,030 na -0,025 J mol⁻¹, što je najviše u odnosu na klijance poreklom sa ostalih parcela. Takođe je i hidroliza u ovom periodu bila povećana za čitava 22% u odnosu na klijance stare **četiri** dana (Tab. 3), što svedoči o intenziviranju biohemijских reakcija, zahvaljujući povećanju kako energetske kapaciteta, tako i uređenosti sistema (Sun, 2002).

Za razliku od hidrolize, koja je u relativno visokom stepenu varirala kod klijanaca starih **četiri** i naročito **osam** dana, a poreklom iz semena sa različitih parcela, vrednosti biosinteze (Tab. 3) su uglavnom bile ujednačene i varirale su u opsegu od 3% kod klijanaca starih i **četiri** i **osam** dana.

Zaključak

Prikazani rezultati ukazuju da razlike u klijavosti i rastu klijanaca pšenice gajene na različitim parcelama mogu biti posledica različitog iskorišćenja energije od strane klijanca. Takođe, intenziviranje biohemijских procesa (hidrolize), na bazi učešća spontanijih reakcija, kao i uređenosti sistema u periodu nakon **četiri** dana bi moglo da rezultuje nešto većom ukupnom klijavošću. Sa druge strane, variranja energetske potencijala, stepena uređenosti sistema, kao i hidrolize semene supstance ne moraju da se odraze na biosintetske reakcije koje se odvijaju u korenu i izdanku. Navedeni podaci upućuju da su variranja u rastu klijanaca poreklom iz semena sa različitih parcela uglavnom vezana

za variranja energetske potencijala koji je unet sa vodom, a ne i sintetisane supstance klijanaca. Rezultati upućuju da čak i minimalne razlike između pojedinačnih parcela mogu uticati na kvalitet proizvedenog semenskog materijala, što je posebno naglašeno primenom termodinamičkih parametra, kao pokazatelja kvaliteta.

Zahvalnica

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, projekat TR-31037.

Literatura

- Boyer JS (1969): Measurement of Water Status of Plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* Vol. 20: 351-364.
- Davies DD (1961) *Bioenergetics*. U: *Intrmediary Metabolism in Plants*, Cambridge Monographs In Experimental Biology, No. 11., T.A. Bennet-Clark, P.B.M.G. Salt, C.H. Waddington, V.B. Wigglesworth (Ed), 35-52 Cambridge University Press., London, Great Britain
- Dragicevic V, Sredojevic S. (2011): Thermodynamics of seed and plant growth. U: *Thermodynamics - Systems in Equilibrium and Non-Equilibrium*. ed. Juan Carlos Moreno Piraján, INTECH, Rijeka, Croatia: 1-20.
- ISTA (2006): International rules for seed testing. Chapter 5, P-1-P-78, Published by International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- Kikuchi K., Koizumi M., Ishida N, Kano H (2006): Water uptake by dry beans observed by micro-magnetic resonance imaging. *Ann Bot.* Vol. 98 (3): 545-553.
- Lekić S (2001): Životna sposobnost semena i kvalitet partije semena. *Selekcija i*

-
- semenarstvo Vol. VIII (1-4): 87-92.
- Molnar I, Vujaković M, Milošević M, Kastori R, Milošev D, Šeremešić S (2005): Uticaj đubrenja i plodoređa na životnu sposobnost semena ozime pšenice. Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, Vol. 41: 257-267.
- Milošević M, Vujaković M, Karagić D (2010): Vigour tests as indicators of seed viability. Genetika, Vol. 42 (1): 103-118.
- Mladenov V, Milošević M (2011) Uticaj sorte i lokaliteta na kvalitet semena ozime pšenice. Selekcija i semenarstvo, Vol. 17 (1): 83-95.
- Sabovljević R, Simić D, Stanković Z, Đurić N, Goranović Đ (2010): Frakcije veličine i klijavost semena pšenice proizvedenog na području PKB. Zbornik naučnih radova Instituta PKB Agroekonomik, Vol. 16 (1-2): 27-34.
- Scharpf HC, Wehrmann J (1975): Die Bedeutung des Mineralstickstoffvorrates des Bodens zu Vegetationsbeginn für die Bemessung der N-Düngung zu Winterweizen. Landwirtschaftlicher Forschung, 32: 100-114.
- Sun WQ (2002): Methods for the study of water relations under desiccation stress, U: Desiccation and Survival in Plants: Drying Without Dying, Black M. & Pritchard H. W. (Ed.), 47-91, CABI Publishing, New York, USA.

THERMODYNAMIC CHARACTERISATION OF WHEAT SEEDLINGS, ORIGINATING FROM SEEDS FROM DIFFERENT FIELDS

Vesna Dragičević, Marija Milivojević, Lana Đukanović, Dragica Ivanović

Summary

Wheat germination could be affected by different factors, including location. Start growth of seedlings present the energy transformations and the seed substance conversion. The aim of the experiment was to examine differences in germination and growth of wheat seedlings, originating from **five** fields with similar characteristics, with application of thermodynamic parameters of free energy and entropy. Variations in energy and total germination of wheat seed was under 10%. After **eight** days of germination testing, the relation between root and shoot at level of fresh and dry matter was 1:1, while only at seedlings from one field it was 1:2 in fresh and 1.5:1 in dry matter. The present differences could be the consequence of the different energy using in seedling. Hydrolysis intensification based on spontaneous reactions and increased order in **four** days old seedlings could result in increased germination. On the other hand, variations in energetic potential, order degree and hydrolysis of seed substance may not take off biosynthetic reactions in root and shoot. Present data towards that variation in growth of seedlings originating from seeds from different fields could be mainly connected to variations in energy potential inputted by water, but not by synthesized substance. Minimal differences between the individual fields could affect quality of the produced seed material, what was particularly underlined by application of thermodynamic parameters as quality indicators.

Key words: free energy, entropy, germination, seedlings, wheat.

Primljeno: 29. oktobar 2012.

Prihvaćeno: 21. novembar 2012.