EVALUAREA STABILITĂȚII GENETICE ÎN FAZA VEGETATIVĂ TIMPURIE LA *TRITICUM AESTIVUM* L. PENTRU RĂSPUNSUL UNOR CARACTERE MORFOLOGICE LA STRESUL DE SECETĂ ȘI CĂLDURĂ

EVALUATION OF GENETIC STABILITY IN EARLY VEGETATIVE PHASE OF *TRITICUM AESTIVUM* L. FOR THE RESPONSE OF SOME MORFOLOGICAL TRAITS TO DROUGHT AND HEAT STRESS

CZU: 633.11:631.523:632.11 **https://doi.org/10.59295/spd2025e.19**

Elena SAȘCO
ORCID: 0009-0003-1014-4016
E-mail: elenasasco5@gmail.com
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecția Plantelor,
Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Abstract. *Variations in climatic conditions account for approximately 36% of the variability in global winter wheat yield.* The combination of drought and heat factors can have complex and sometimes contradictory effects compared to when they act separately. *Traits such as Stem Length and Plant Vigor showed drastic reductions in response to drought stress induced by 16% PEG under a temperature of 22°C. The genotype M66 demonstrated index stability, indicating a high level of tolerance. In response to the combined action of drought and high temperature (43°C), the genotype LMO/M79 exhibited moderate susceptibility. Analysis of variance revealed differences in trait responses. Under combined drought and heat stress, the cumulative effect of the Genotype factor and the Genotype × Moisture Restriction interaction increased by 14.8% and 61.6%, respectively, compared to their effects under drought stress alone. Wheat varieties M614 and M66 demonstrated increased tolerance in the morphological trait responses to high temperature and combined drought and heat stress. The genotype LMO/M79 showed varying levels of susceptibility in the Tolerance Index under the three abiotic stress conditions.*

***Cuvinte cheie: Indice de Toleranță, Indice de Vigoare a Plantelor, Stres de secetă și căldură, Triticum aestivum* L.**

Keywords: Drought and heat stress, Plant Vigor Index, Tolerance Index, Triticum aestivum L.

INTRODUCERE

Grâul (*Triticum aestivum* L.) deține o poziție unică și crucială în agricultura globală. Fiind cea mai răspândită cultură alimentară, grâul este clasat pe locul doi în funcție atât de suprafața cultivată, cât și de volumul total al producției. Grâul furnizează o proporție semnificativă din caloriile și mineralele alimentare și aproximativ 20% din proteinele necesare. Potrivit estimărilor FAO, producția mondială de grâu în a.2023 a fost una din cele mai mari din istorie. În Europa, cultivat pe aproximativ 61,2 milioane de hectare,

grâul a prezentat o producție totală de 269,3 milioane de tone, randamentul mediu fiind de 4,4 t/ha. Contribuția Republicii Moldova a fost de 1,6 milioane de tone, cu o productivitatea medie de 4,1 t/ha [5]. Prezentând o poziție importantă în comerțul internațional, volumul producției mondiale de grâu în anul de comercializare 2024/25 a ajuns la aproape 793 de milioane tone, ce reprezintă o creștere de aproximativ două milioane de tone în comparație cu anul precedent [17].

Impactul schimbărilor climatice atestă o gravă amenințare la adresa agriculturii durabile pe parcursul ultimilor decenii. Extremele de temperaturi asociate cu precipitațiile joase necesită atenuarea efectului acestora prin dezvoltarea de genotipuri de grâu cu adaptabilitate înaltă la factorii de stres abiotic. La nivel global, variațiile condițiilor climatice explică aproximativ 36% din variabilitatea randamentului grâului de toamnă [11,14]. Combinația acestor stresuri pot avea efecte contradictorii și complexe în comparație cu cele de stres individual [8]. Seceta este cel mai important stres de mediu care poate limita sever germinarea semințelor și creșterea timpurie a grâului prin perturbarea diferitelor procese fiziologice [10]. Stresul cauzat de căldură sau de secetă manifestă impact negativ asupra grâului atât în stadiul vegetativ, cât și în cel reproductiv, cauzând pierderi de randament de până la 40% - 60%, totodată, efectul lor combinat în fazele de înflorire și umplere a semințelor poate provoca pierderi mult mai severe [11, 15, 16, 18].

Studii recente vizează remobilizarea masei uscate în organele de creștere în pre-antesă și acumularea acesteia prin fotosinteză în timpul umplerii boabelor. Stresul termic combinat cu seceta a crescut partiționarea carbohidraților solubili în apă în genotipurile de grâu locale vechi, în timp ce recuperarea a fost absentă în soiurile australiene moderne [3, 9]. Amorsarea prin secetă în timpul etapei vegetative generează un răspuns de protecție mai rapid și mai eficient la stresul de temperatura ridicată. Mecanismele de modificare a deteriorării membranei celulare și creștere a activității enzimelor antioxidante a promovat termotoleranța și la genotipurile susceptibile [7].

In scenariul schimbărilor climatice, studiul prezent are scopul de a identifica, în baza unor trăsături morfologice, surse tolerante la secetă și temperaturi ridicate în germoplasma de grâu comun autohton.

MATERIAL ȘI METODĂ

Cinci genotipuri de grâu comun: L Mirgorod/Odeschi162 /Moldova79 (LMO/M79), L Moldova79 /Mirgorod/Odeschi162 (LM79/MO), L Moldova5 /Mirgorod/Odeschi162 (LM5/MO), Moldova 614 (M614) și Moldova 66 (M66) au fost investigate pentru răspunsul unor caractere morfologice la acțiunea factorilor de secetă și căldură în condiții controlate de laborator. Semințele au fost igienizate în alcool etilic (80%) și clorură de calciu (10%), pregerminate timp de 2 ore la 30°C și distribuite între 2 foi de hârtie de filtru în vase Petri. Restricțiile de umiditate (*RU*), produse de apă distilată (Martor) și soluție apoasă a 2 concentrații PEG 6000 (10% și 16% d/v) au fost aplicate în 2 seturi de variante, cutiile fiind menținute 5 zile la întuneric la temperatura optimă de 22^{o} C. După

5 zile de cultură, variantele unuia din seturi au fost supuse pentru 2 ore la temperatura de 43° C și menținute timp de 2 zile pentru reabilitarea proceselor fiziologice la 22°C [4, 6].

Variabilitatea fenotipică pentru caracterele Potențial de Germinare (*PG*), Lungimea Rădăcinii și Tulpinii (*LR* și *LT*), Masa Uscată a Rădăcinii și Tulpinii (*MUR* și *MUT*) a fost înregistrată, respectiv, după 5 și 7 zile de cultură. Evaluarea răspunsului fenotipic la acțiunea stresului hidric și a temperaturii ridicate a fost efectuată utilizând Indicele de Vigoare a Plantelor (*VP*), calculat conform formulei *VP* = *PG* (%) x *LP* (cm) / 100 [10, 12]. Răspunsul fenotipic de toleranță la acțiunea factorilor de stres a fost calculat în baza Indicelui de Toleranță (*IT*) [2].

Rezultatele au fost prelucrate conform testului ANOVA, pachetul de soft STATISTICA 7.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Caracterele cercetate au manifestat diminuare, stimulare, dar și creștere la nivelul variantei martor în răspunsul la acțiunea restricțiilor de umiditate în condiții de temperatură favorabilă (22^o C). Astfel, atât *PG*, cât și *LR* au fost slab afectate de restricțiile de umiditate induse de PEG în concentrațiile de 10%, fiind manifestată chiar și stimularea acestora. Fenomenul de toleranță a trăsăturilor la acțiunea stresului hidric de intensitate joasă a fost relatat în mai multe cercetări [10, 13]. Parametrii *PG* și *LR* au manifestat corelații semnificative înalte (*r = 0,72* și *r = 0,81*) cu indicele *VP*. Genotipurile LMO/M79, LM5/MO și M66 au prezentat stabilitate pentru *PG*, pe când LM79/MO, LM5/MO și M 614 – pentru fenotipul *LR*. Limitarea creșterii *LT* reflectă sensibilitatea înaltă a organelor aeriene la acțiunea factorilor de stres de secetă. Răspunsul fenotipic al trăsăturilor morfologice în condiții de secetă ca rezultat al interacțiunii *genotip* x *mediu* este o formă de adaptabilitate la condițiile aride [1, 13]. Masa uscată *MUR* și *MUT* a variat în diapazon larg, respectiv 4,09…5,98 și 4,94…6,48. O stabilitate a parametrilor a fost manifestată pentru *MUR* la genotipurile LM5/MO, M614 dar și la M66, pe când pentru *MUT* – la LMO/M79 și LM5/MO. În condițiile de secetă moderată (PEG16%) indicele integral *VP* a fost diminuat cu 27,2%, 22,1%, 26,0% și 18,8%, respectiv pentru LMO/M79, LM79/MO, LM5/MO și M614, genotipurile de grâu fiind atestate cu susceptibilitate de diferită gradație. Indicele *VP* a înregistrat stabilitate doar în răspunsul genotipului M66 (Tabelul 1).

Tabelul 1. Variabilitatea caracterelor morfologice la grâul comun în răspunsul la tratamentele de restricții de umiditate la temperatura de 22^{o}C

G	*TU*	*PG*	*LR*	*LT*	*MUR*	*MUT*	*VP*
LMO/M79	Apă	82,2	108,4	62,1	4,56	5,56	14,0
	PEG10%	76,6	102,3	44,1	4,09	5,23	11,2
	PEG16%	77,8	90,4	38,8	4,39	5,87	10,1

LM79/MO	Apă	76,7	88,4	59,2	5,15	5,75	11,3
	PEG10%	75,1	92,0	51,2	4,71	5,45	10,8
	PEG16%	63,3	87,1	51,2	4,63	4,94	8,8
LM5/MO	Apă	84,4	85,5	61,3	5,68	6,12	12,5
	PEG10%	94,4	99,5	52,8	5,98	6,07	14,4
	PEG16%	75,8	90,8	53,1	5,87	6,48	10,5
M614	Apă	76,7	99,1	68,3	5,49	6,22	12,8
	PEG10%	86,7	101,5	54,7	5,52	5,28	13,5
	PEG16%	66,7	97,5	58,6	5,57	5,26	10,4
M66	Apă	70,1	91,8	57,5	4,85	6,05	10,6
	PEG10%	78,9	100,2	59,0	5,32	5,06	12,5
	PEG16%	74,4	84,6	42,1	5,27	5,03	9,4

Caracterele morfologice au stabilit răspunsuri unice de diminuare, majorare, dar și de manifestare a variabilității fenotipice în condiții de acțiune concomitentă a restricțiilor de umiditate de intensitate joasă și a stresului termic de 43° C. Astfel, au fost valorificate *PG* (LM5/MO), *LR* și/sau *LT* (LM79/MO, LM5/MO, M614 și M66). Ca urmare, genotipurile citate au manifestat performanță pentru indicele integral *VP* în raport cu martorul respectiv, ceia ce le atestă ca tolerante la acțiunea asociată a factorilor de stres vizați. Genotipurile LM79/MO, LM5/MO și M66 au manifestat stabilitatea indicelui integral *VP* la nivelul martorului și în condițiile de acțiune simultană a restricțiilor moderate de umiditate (PEG16%) cu stresul termic de 43°C ca rezultantă a stabilității parametrilor *PG*, *LR*, dar și *LT*. Amorsarea de 5 zile prin secetă a condus manifestarea unei toleranțe la stresul de temperatură ridicată [7]. Masa uscată *MUR* a prezentat cele mai joase valori pentru LMO/M79, manifestând nivel jos de reabilitare a proceselor fiziologice. Indicele integral *VP* pentru genotipul dat a fost redus la 80,0% și 72,1% din martor. Genotipul LMO/M79 a fost afectat puternic de stresul de căldură în ambele condiții de secetă manifestând susceptibilitate moderată pentru fenotipul *VP* (Tabelul 2).

Tabelul 2. Variabilitatea caracterelor morfologice la grâul comun
în răspunsul la acțiunea asociată a factorilor de secetă și temperatură

G	*TU*	*PG*	*LR*	*LT*	*MUR*	*MUT*	*VP*
LMO/M79	Apă	87,8	93,0	62,2	4,84	6,25	13,6
	PEG10%	73,9	100,4	60,3	4,75	5,92	11,8
	PEG16%	73,3	102,1	57,2	4,66	5,86	11,3
LM79/MO	Apă	68,9	85,5	68,6	5,44	6,40	10,6
	PEG10%	68,3	104,0	72,8	6,25	6,70	12,9
	PEG16%	68,2	98,0	65,9	5,86	6,20	11,0
LM5/MO	Apă	77,8	84,6	66,2	6,35	7,08	11,7
	PEG10%	94,4	99,0	64,3	6,83	6,85	13,4
	PEG16%	86,8	98,2	62,1	6,62	7,33	12,1

M614	Apă	84,6	93,7	57,5	5,42	6,68	12,8
	PEG10%	82,2	117,8	75,5	6,49	7,45	13,9
	PEG16%	83,3	92,1	61,5	5,79	5,99	12,2
M66	Apă	82,2	92,4	55,2	5,26	6,27	12,0
	PEG10%	76,6	116,4	75,0	6,4	6,70	13,7
	PEG16%	71,1	99,9	65,7	6,23	6,18	11,8

Analiza varianței (testul ANOVA) a relevat că în condiții de temperatură optimă genotipul de grâu a contribuit cu cea mai înaltă pondere în manifestarea fenotipică a trăsăturii *MUR* (89,1%). Restricțiile de umiditate (*RU*) au produs cea mai înaltă rată de variabilitate pentru fenotipul *IV*, *LT*, *PG* și *MUT* (82,0%, 73,6%, 69,3% și 45,4%). În răspunsul trăsăturilor morfologice în condiții de acțiune asociată a stresului de secetă și temperatură ridicată efectul sumar al factorilor *G* și de interacțiune *G x RU* a crescut cu 14,8% și 61,6% (Tabelul 3).

Tabelul 3. Medii pătrate (*MP*) și componente de variație (*CV*) pentru genotip (*G*), restricții de umiditate (*RU*) și efecte de interacțiune (*G* x *RU*)

Surse de variație	*G*		*RU*		*G* x RU	
Grad de libertate	4		2		8	
Trăsături	*MP*	*CV*	*MP*	*CV*	*MP*	*CV*
	Condiții optime de temperatură, 22° C					
PG	161,4	18,6***	601,1	69,3***	98,4	11,3***
LR	221,9	36,1***	306,9	49,9***	77,2	12,5***
LT	173,7	18,0***	708,3	73,6***	77,5	8,1***
MUR	3,079	89,1***	0,230	6,7	0,14	4,1
MUT	1,661	29,6**	2,548	45,4**	1,04	18,6*
Indicele VP	46830	11,3***	33994	82,0***	2615	6,3***
	Stres termic la temperatura de 43° C, cu durata de 2 ore					
PG	*311,4*	*50,0****	49,6	8,0**	254,1	40,8***
LR	121,2	8,5***	1180	83,0***	108,2	7,6***
LT	186,1	28,1***	393,4	59,5***	77,9	11,8***
MUR	3,557	55,1***	1,762	27,3**	0,891	13,8**
MUT	3,566	69,1***	0,851	16,5**	0,606	11,7**
Indicele VP	27834	21,8***	81744	64,1***	16131	12,7***

* ,** și *** – suport statistic pentru $p < 0,05$, $p < 0,01$ și $P<0,001$.

Pentru identificarea surselor genetice de toleranță la acțiunea separată/asociată a factorilor de secetă și căldură a fost utilizat Indicele de toleranță (*IT*), care reprezintă rezultanta raportului valorilor fenotipice în condiții de stres la cele atestate în condiții de martor, exprimat prin diferența acestora în procente [2]. Algoritmul aglomerativ-iterativ

(*Ward`s method*) a stabilit similaritate în răspunsul *IT* pentru LM79/MO, M5/MO, M614 și M66 în interacțiune cu disecatul PEG10%, genotipurile 3, 5, 6, 7, 9 au fost încadrate în clusterul cu toleranță ridicată (A). Genotipurile LM79/MO, M614, M66 (3, 7, 9, 10) au manifestat nivel ridicat de toleranță la acțiunea concomitentă a factorilor de secetă moderată și căldură (B). Soiurile de grâu omologate M614 și M66 (3, 4) au atestat toleranță sporită la acțiunea separată a factorului de temperatură înaltă (C). Totodată, genotipul LMO/M79 a fost separat în subclusterul cu cele mai diminuate valori *IT* în cele 3 condiții de stres, atestând diverse niveluri de susceptibilitate (Figura 1, A, B și C).

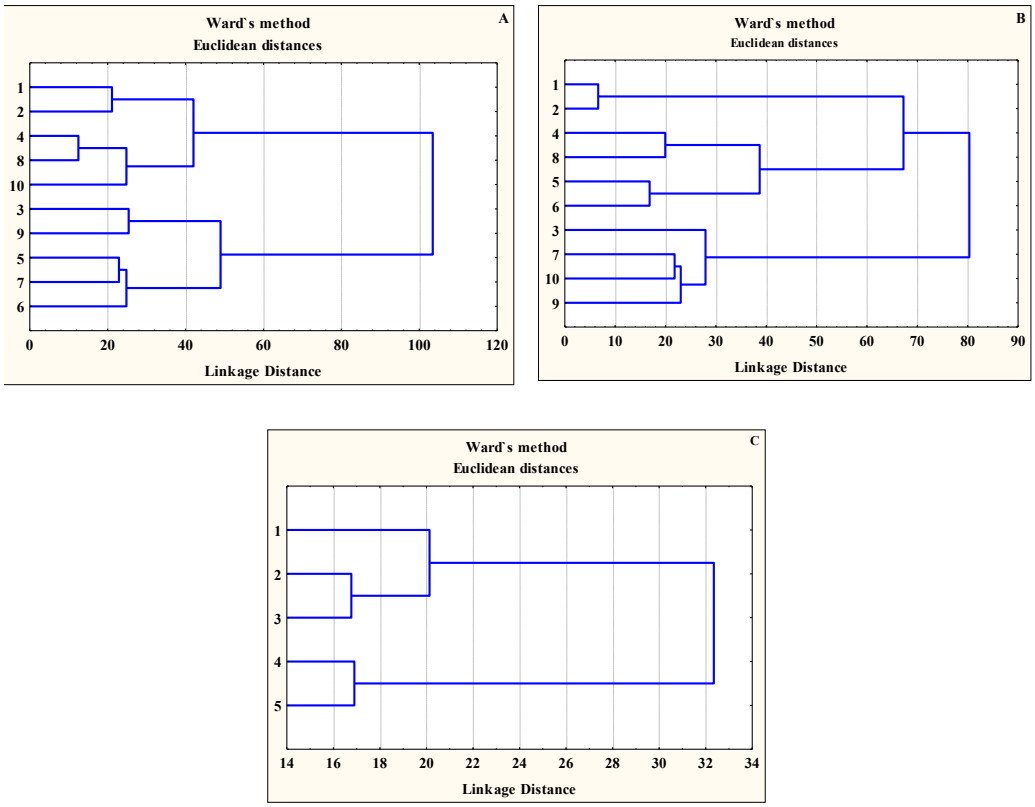


Figura 1. Distribuția (*Ward`s method*) genotipurilor de grâu în baza indicelui de toleranță la acțiunea restricțiilor de umiditate (A), combinației de secetă și căldură (B) și stresului termic (C)
Pe verticală (A, B): 1, 2–LMO/M79; 3, 4–LM79/MO; 5, 6–LM5/MO; 7, 8–M614; 9, 10–M66; 1, 3, 5, 7, 9–PEG10%; 2, 4, 6, 8, 10–PEG16%;
Pe verticală (C): 1–LMO/M79; 2–LM79/MO; 3–LM5/MO; 4–M614; 5–M66.

CONCLUZII

Trăsăturile *Lungimea Tulpinii* și *Vigoarea Plantei* au înregistrat diminuări drastice în răspunsul la acțiunea secetei produse de disecatul PEG 16% în condiții de temperatură

22o C. Genotipurile LMO/M79, LM79/MO, LM5/MO și M614 au manifestat susceptibilitate de diferită gradație pentru indicele *Vigoarea Plantei.* Genotipul M66 a înregistrat o stabilitate a indicelui.

În răspunsul la acțiunea concomitentă a factorilor de secetă și temperatură ridicată genotipul LMO/M79 a manifestat susceptibilitate moderată pentru fenotipul *Vigoarea Plantei*.

Analiza varianței (testul ANOVA) a relevat existența unor diferențe semnificative în formarea răspunsului pentru caracterele investigate. În condiții de acțiune asociată a factorilor de secetă și căldură în raport cu stresul individual de secetă a crescut efectul sumar al factorilor *Genotip* și interacțiune *Genotip x Restricții de Umiditate*. Soiurile de grâu M614 și M66 au atestat toleranță sporită în răspunsul la acțiunea factorului de temperatură ridicată, dar și la acțiunea combinată a factorilor de secetă și căldură. Genotipul LMO/M79 a atestat diverse niveluri de susceptibilitate în cele 3 condiții de stres abiotic.

Cercetările au fost realizate în cadrul proiectului "***Identificarea și valorificarea genitorilor valoroși de culturi agricole în crearea unei baze genetice autohtone de interes socio-economic*" (2024-2025)**, finanțat de Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare.

REFERINȚE:

1. AHMED, H. et al. Selection Criteria for Drought-Tolerant Bread Wheat Genotypes at Seedling Stage. In: *Sustainability.* 2019. Vol. *11*(9) 2584. https://doi.org/10.3390/su11092584
2. DEVI, S., SINGH, V., and NARESH, H. Evaluation of wheat genotypes for yield potential under combined drought and heat stress conditions. In: *Journal of Cereal Research*. 2022. Vol.14(1), p.37-43. http://doi. org/ 10.25174/2582-2675/2022/119784
3. El HABTI, A. et al. Tolerance of Combined Drought and Heat Stress Is Associated With Transpiration Maintenance and Water Soluble Carbohydrates in Wheat Grains. In: *Front. Plant Sci.* 2020. 11:568693. doi: 10.3389/fpls.2020.568693
4. GUPTA, N.K. et al. Effect of short-term heat stress on growth, physiology and antioxidative defence system in wheat seedlings. In: *Acta Physiol. Plant*., 2013. Vol.35, p. 1837–1842. doi: 10.1007/s11738-013-1221-1
5. FARHAD, M. et al. Heat stress in wheat: a global challenge to feed billions in the current era of the changing climate. In: *Food Syst*. 2023. Vol.7:1203721. doi: 10.3389/fsufs.2023.1203721
6. FAO: https://www.statista.com/topics/1668/wheat/ citat: 28.02.2025
7. KUMAR, R. et al. Drought priming induced thermotolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) during reproductive stage; a multifaceted tolerance approa-

ch against terminal heat stress. In: Plant Physiology and Biochemistry. 2023. Vol.201. 107840 doi: 10.1016/j.plaphy.2023.107840.

8. LAMA, S. et al. Impacts of heat, drought, and combined heat–drought stress on yield, phenotypic traits, and gluten protein traits: capturing stability of spring wheat in excessive environments. In: *Front. Plant Sci.* 2023. 14:1179701. doi: 10.3389/fpls.2023.1179701
9. LI, Q. et al. Temporal dynamics of pre-flowering dry matter remobilization and post-flowering photosynthetic compensation in wheat under combined high temperature and drought stress. In: *Plant Growth Regulation*. https://doi.org/10.1007/s10725-025-01336-0
10. MOHI-UD-DIN, M. et al. Multivariate Analysis of Morpho-Physiological Traits Reveals Differential Drought Tolerance Potential of Bread Wheat Genotypes at the Seedling Stage. In: *Plants*. 2021. Vol.10, 879. https://doi.org/10.3390/plants10050879
11. OBEMBE, O., HENDRICKS, N., TACK J. Decreased wheat production in the USA from climate change driven by yield losses rather than crop abandonment. In: *PLoS One*. 2021. Vol.16(6): e0252067. oi: 10.1371/journal.pone.0252067
12. QADIR, S.A. Wheat Grains Germination and Seedling Growth Performance under Drought Condition. In: *Basrah J. Agric. Sci.* 2018. Vol.31(2), p.44-52.
13. RAVEENA, BHARTI, R., CHAUDHARY, N. Drought Resistance in Wheat (*Triticum aestivum* L.). In: *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2019. Vol.8(09). DOI:10.20546/ijcmas
14. RAY, D.K. et al. Climate variation explains a third of global crop yield variability. In: *Nature Communications*. 2015. Vol.6: 5989. doi:10.1038/ncomms6989
15. SAREEN, S. et al. Resilience to Terminal Drought, Heat, and Their Combination Stress in Wheat Genotypes. In: *Agronomy*. 2023. Vol.13(891). https://doi.org/10.3390/agronomy13030891
16. SEWORE, B.M., ABE A., NIGUSSIE, M. Evaluation of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for drought tolerance using morphophysiological traits under drought-stressed and well-watered conditions. In: *PLoS ONE*, 2023. Vol.18(5) e0283347. https://doi.org/10.1371/journal
17. SHAHBANDEH, M. (2025). Wheat - statistics & facts. *Statista*. https://www.statista.com/topics/1668/wheat/ citat: 28.02.2025
18. SINGH S.P. et al. Effect of Drought Stress on the Morphological and Physiological Characterization of the Indian Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotype. In: *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*., 2018. Vol.7(8), p. 1144-1155