TRĂSĂTURI MORFO-FIZIOLOGICE ASOCIATE TOLERANȚEI LA SECETĂ LA CULTURA DE FLOAREA-SOARELUI

MORPHO-PHYSIOLOGICAL TRAITS ASSOCIATED WITH DROUGHT TOLERANCE IN SUNFLOWER CROP

CZU: 581.4:633.854.78:551.577.38 **https://doi.org/10.59295/spd2024n.08**

Maria DUCA,
ORCID: 0000-0002-5855-5194
e-mail: maria.duca@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova
Steliana CLAPCO,
ORCID: 0000-0001-7147-2740
e-mail: steliana.clapco@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova
Angela PORT,
ORCID: 0000-0003-3994-8918
e-mail: angela.port@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova
Ana MUTU,
ORCID: 0000-0001-8603-142X
e-mail: ana.mutu@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova
Rodica MARTEA,
ORCID: 000-0002-1244-7147
e-mail: rodica.martea@usm.md
Universitatea de Stat din Moldova

Summary. *Drought affects the growth and development of plants, inhibits the absorption of nutrients from the soil, significantly reducing crop productivity. Water deficit reduces the size and mass of organs in Helianthus annuus L. plants, such as leaves, stems, head diameter, simultaneously affecting the parameters associated with productivity, such as number and weight of total and full seeds per head, hectoliter mass, 1000-seeds weight. One of the main strategies to reduce the negative impact of drought is the creation and introduction into culture of genotypes characterized by tolerance to water deficit. The present work includes an analyzes of sunflower (Helianthus annuus L.) phenotypic responses to drought stress and revealing of some morpho-physiological traits, which can be used r for germplasm screening. Each of the applied methodologies, in addition to the obvious advantages, has a series of limitations that create impediments in the correct assessment of genotypes. In this context, integration of morpho-physiological and biochemical traits with genetico-molecular approaches and involvement of different analysis tools (correlational, ANOVA, PCA) are recommended for efficient screening and development sunflower hybrids adapted to drought stress.*

Keywords: *drought stress, morpho-physiological traits, screening, sunflower, yield.*

INTRODUCERE

Schimbările climatice reprezintă una dintre cele mai complexe probleme cu care se confruntă omenirea în ultimii ani, impactul negativ al acestora fiind mai vizibil în sectorul agricol. Astfel, s-a raportat că cca 18%-43% din variația randamentului culturilor agricole poate fi atribuită evenimentelor meteorologice extreme, în special secetei [1].

Seceta limitează creșterea și dezvoltarea plantelor, inhibă absorbția substanțelor nutritive din sol, diminuând semnificativ productivitatea culturilor. Deși floarea-soarelui, una dintre cele mai importante culturi oleaginoase, este considerată tolerantă la deficitul de apă, seceta severă din ultimii ani o afectează semnificativ, în special în perioada critică de dezvoltare de la înflorirea timpurie până la umplerea achenelor. Dintr-o perspectivă morfologică, seceta reduce dimensiunea și masa organelor la plantele de *Helianthus annuus* L., cum ar fi frunzele, tulpinile, diametrul calatidiilor, afectând concomitent și indicatorii asociați cu productivitatea, precum masa și numărul semințelor totale/pline per calatidiu, masa hectolitrică și cea a 1000 de achene [2-4].

Una dintre principalele strategii de diminuare a impactului negativ al secetelor este crearea și introducerea în cultură a genotipurilor caracterizate prin rezistență la factorii limitatori. Toleranța sporită la secetă poate fi obținută prin încorporarea unor trăsături care ajută planta să facă față eficient stresului cauzat de secetă, o etapă cheie fiind prezentată de screening-ul materialului ameliorativ. Majoritatea trierilor sunt empirice bazate pe utilizarea drept criteriu de selecție a randamentului culturii în condiții de stres, comparativ cu cel remarcat în condiții normale de dezvoltare, selectându-se indirect genotipuri cu trăsături care conferă un avantaj adaptiv. Rata de succes a programelor de ameliorare depinde într-o măsură majoră de eficiența tehnicii de screening pentru caracterul de interes [5].

Prezenta lucrare include o serie de analize ce vizează caracterizarea răspunsurilor fenotipice ale culturii de floarea-soarelui (*Helianthus annuus* L.) la diferite scenarii de stres hidric și relevarea unor particularități morfo-fiziologice cu statut de indicator fiabil de triere a germoplasmei.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Acțiunea secetei asupra plantelor de cultură determină activarea unor mecanisme de răspuns remarcate la diverse nivele de organizare ale plantei, exprimate în modificări ale expresiei genelor, indicatorilor fiziologici și biochimici și, în cele din urmă, a fenotipului plantei. Amploarea efectului acesteia variază în funcție de genotip, faza de creștere a culturii, caracteristicile solului, severitatea, frecvența și durata stresului [6].

Plantele expuse deficitului de apă prezintă modificări în mai multe procese fiziologice și biochimice, cum ar fi intensitatea fotosintezei, acumularea de acid abcizic, închiderea stomatelor și reducerea asimilării dioxidului de carbon, activitatea enzimelor antioxidante, precum superoxiddismutaza, glutation reductaza, catalaza și peroxidaza, sinteza moleculelor mici cu efect antioxidant (acidul ascorbic, glutationul, α-tocoferolul, flavonoidele și carotenoidele), creșterea concentrației de aldehidă malonică ca un indicator al deteriorării celulelor, acumularea de substanțe reglatoare osmotice (ca ex. amino-

acidul prolina, zaharuri) ș.a. Monitorizarea proceselor și dozarea substanțelor sintetizate ca răspuns la acțiunea stresogenilor stau la baza majorității metodelor de evaluare a rezistenței la secetă, valoarea acestora servind drept indiciu pentru discriminarea genotipurilor în tolerante/sensibile [7, 8].

Abordările complexe sunt aplicate, în special, pentru analiza unui număr mic de genotipuri, în cazul unor analize de triere în volum mai mare fiind mai avantajoasă utilizarea metodelor mai ieftine și mai puțin laborioase. Unul dintre procedeele folosite eficient pentru analiza rezistenței la stresul termic și hidric a diferitor specii de plante în laborator, este testul de germinare în condiții de secetă indusă artificial cu aplicarea diferitor concentrații de polietilenglicol (PEG).

Germinarea semințelor este cea mai critică și sensibilă fază a ciclului de viață a plantelor, iar floarea-soarelui fiind o cultură de semințe oleaginoase este deosebit de susceptibilă la lipsa de apă la etapa dată. Perturbarea procesului a fost confirmată în multiple studii, cercetările relevând scăderea ratei de germinare și acumulare de biomasă la diverse genotipuri de floarea-soarelui concomitent cu creșterea nivelului stresului osmotic în mediul de germinare, precum și creșterea timpului mediu de germinare, instalarea slabă și nesincronizată a răsadului, limitarea creșterii timpurii a acestuia [2, 9, 10]. Rezultatele obținute au indicat că rata de germinare poate fi utilizată drept criteriu de screening pentru toleranța la stres, deși, un șir de cercetători consideră că acest parametru reflectă, în special, calitatea semințelor (vârsta, mărimea, maturitatea, condițiile de depozitare, compoziția biochimică a semințelor) și mai puțin toleranța la stres. Testul de germinare este util pentru trierea loturilor mari de semințe viguroase, cu capacitatea germinativă înaltă, diferențele genetice între genotipuri fiind apreciate inclusiv din perspectiva diferitor indici de dezvoltare a plantulelor stresate – înălțimea, lungimea rădăcinii, masa biomasei proaspete și uscate, conținutul relativ al apei, în raport cu cele crescute în condiții normale [4, 11]. Aplicând testul de germinare, urmat de analiza parametrilor morfo-fiziologici, cercetătorii au reușit să clasifice genotipurile studiate în grupe distincte după nivelul de toleranță la secetă și să identifice genotipuri de perspectivă [2, 12, 13].

La faza de dezvoltare vegetativă stresul cauzat de secetă reduce înălțimea tulpinii principale, diametrul tulpinii, numărul de noduri sau frunze per plantă, suprafața frunzelor și conținutul relativ al apei din frunză, crescând totodată lungimea rădăcinii și raportul rădăcină-tulpină [6, 14].

Se cunoaște că floarea-soarelui este considerată o cultură bine adaptată la secetă, în special, datorită sistemului radicular bine dezvoltat, capabil să pătrundă adânc în profilul solului și să absoarbă apa și substanțele nutritive. Cu toate acestea în cazul în care straturile de sol sunt dure în profunzime sau compactate la suprafață, potențialul de înrădăcinare profundă a culturii scade dramatic, reducându-se, totodată, înălțimea plantelor, diametrul tulpinii, numărul și masa achenelor [15].

Genotipurile cu rădăcini mai lungi și mai dense pot explora straturile mai adânci de sol, prezentând un nivel ridicat de toleranță în condiții de stres [16], iar trăsăturile acestora, precum lungimea și diametru, densitatea, volumul, masa proaspătă și uscată,

reprezintă indicatori importanți în evaluarea rezistenței la secetă a genotipurilor și screening-ul materialului ameliorativ [5, 16-18].

La aplicarea deficitului de apă [18] s-a observat o lungime mai mare a rădăcinii la liniile consangvinizate tolerante la secetă și, respectiv, mai redusă la cele susceptibile. Totodată, practic la toate genotipurile, creșterea tulpinii este reprimată, modificându-se raportul rădăcină-tulpină. S-a demonstrat că intensificarea creșterii în lungime a rădăcinii se datorează capacității mai mari de ajustare osmotică a genotipurilor tolerante la secetă, această trăsătură corelând pozitiv puternic cu greutatea biomasei uscate și lungimea rădăcinii. Creșterea greutății rădăcinii se poate datora unei alocări mai mari a substanțelor organice, cum ar fi zaharoza și glucoza, către rădăcini, ceea ce reduce potențialul osmotic, contribuind la extragerea din sol a apei și mineralelor, menținând astfel creșterea și funcționarea rădăcinilor în condiții de secetă [19, 20]. Rezultatele privind distribuția biomasei între organele aeriene și subterane sunt contradictorii. În unele cazuri, deși lungimea rădăcini crește, masa acesteia este reprimată sau variază independent de lungime, fără a exista o relație pozitivă sau negativă dintre aceste două trăsături. Scăderea greutății rădăcinilor se poate datora efectului inhibitor al secetei asupra rădăcinilor laterale, care influențează greutatea totală a rădăcinilor [16, 18, 21, 22].

În condițiile unui stres moderat de secetă lungimea rădăcinilor la un șir de hibrizi de floarea-soarelui experimentali din Republica Moldova a depășit nivelul martorului cu 26,9-165,9%, radicelele fiind însă foarte subțiri, cu un volum radicular redus [9] . Rezultate similare au fost obținute și în studii realizate în câmp, reducerea conținutului solului în apă de la 70% la 40% având ca efect scăderea semnificativă a volumului sistemului radicular [23].

Prin urmare, valorile mai mari ale lungimii rădăcinii și a raportului rădăcină : tulpină, pot fi utilizate ca indicatori în discriminarea genotipurilor tolerante la secetă și cele susceptibile, în ultimii ani fiind înregistrate progrese semnificative în înțelegerea bazei genetice a acestor variații. Numeroase studii au raportat identificarea locilor de trăsături cantitative (QTL) asociate cu creșterea lungimii rădăcinii principale, laterale, a biomasei subterane, precum și conținutul relativ de apă, concentrația de clorofilă. În cele mai multe cazuri, trăsăturile rădăcinii s-au dovedit a fi sub control genetic complex, cu QTL-uri multiple cu efect de la slab până la moderat [14, 24, 25].

Pe de altă parte, fenotiparea trăsăturilor rădăcinilor este destul de dificilă și laborioasă, atât la nivel de câmp, cât și în experiențe realizate în vase de vegetație. Astfel, impedimentul remarcat în testările din câmp constă în imposibilitatea extragerii complete a sistemului radicular din sol [5]. O abordare alternativă este evaluarea genotipului la fazele incipiente de dezvoltare, în condiții controlate, în vase de vegetație cu dimensiuni suficiente pentru a asigura dezvoltare rădăcinii. Arhitectura sistemului radicular a fost studiată cu succes de Masalia și colab. [24] constatându-se o variație substanțială a morfologiei rădăcinii plantulelor și a trăsăturilor de creștere.

Limitarea cantității de apă reduce înălțimea tulpinii principale și diametrul acesteia, influența negativă fiind mai puțin accentuată la genotipurile tolerante la secetă [2].

Rezultatele unor studii de câmp [16] sugerează că, în condiții de alimentare adecvată cu apă, hibrizii de floarea-soarelui caracterizați prin înălțime mai mare prezintă indici de productivitate superiori genotipurilor pitice, în timp ce plantele cu statură mai mică mențin productivitatea în condiții limitate de apă din sol. Înălțimea plantei, diametrul tulpinii și calatidiului au fost identificate ca indicatori morfologici eficienți pentru screening-ul genotipurilor de floarea-soarelui în condiții de stres hidric.

Răsucirea și fragilitatea frunzelor, ofilirea, scăderea turgescenței, îngălbenirea, creșterea ratei de senescență și cădere prematură a frunzelor sunt unele dintre cele mai omniprezente simptome ale stresului cauzat de secetă în plante [26]. Deficitul de apă afectează expansiunea frunzelor, conductanța stomatelor și, respectiv, rata de transpirație, efectul fiind distinct la diferite faze de dezvoltare a genotipurilor de floarea-soarelui. Altfel, înainte de înflorire, este influențată puternic expansiunea frunzelor, ceea ce afectează creșterea, interceptarea radiației solare și utilizarea apei, în timp ce după înflorire, conductanța somatică influențează puternic regimul hidric al plantei, ceea ce afectează extinderea celulelor și activitatea metabolică, cu efecte negative asupra fotosintezei, polenizării și fecundării [27]. Comportamentul genotipurilor de floarea-soarelui este convențional divizat în strategii „conservatoare", în care plantele reacționează la stresul cauzat de secetă reducând expansiunea frunzelor și închizând stomatele atunci când cantitatea de apă din sol este încă relativ mare și „productivă" – cultura continuă să se extindă și să transpire în pofida intensificării secetei. Totodată, din cauza relației dintre starea apei din sol și starea apei din frunze, comparația răspunsurile plantelor la deficitul de apă este destul de dificilă fără un control a stării apei din sol. Genotipurile cu strategia conservatoare sunt mai adaptate la mediile cu deficite severe de apă, în timp ce genotipurile cu strategia productivă sunt adaptate, în special, la mediile cu deficite de apă scurte, frecvente și moderate care alternează cu perioade bine udate. Deficitul de apă după înflorire poate crește, de asemenea, senescența frunzelor și diminua randamentul culturii prin scurtarea etapei de umplere a semințelor [26].

Suprafața frunzelor corelează semnificativ negativ cu eficiența utilizării apei, fiind sugerată crearea hibrizilor cu suprafața redusă a frunzelor, care rezistă mai ușor condițiilor nefavorabile. Pe de altă parte, reducerea suprafeței frunzelor diminuează capacitatea fotosintetică a plantei, reduce producția de biomasă proaspătă și uscată și poate afecta negativ randamentul culturii. Alternativ, pierderile de transpirație pot fi minimizate prin selecția pentru frunze cu cantități sporite de ceară cuticulară [28, 29], în acest caz fiind întreprinse încercări de introducere în liniile de elită de floarea-soarelui a genelor asociate trăsăturilor precum suprafață redusă a frunzei, cantitatea înaltă de ceară cuticulară, pilozitate intensă, de la specia sălbatică *Helianthus argophyllus* [30].

Suprafața frunzelor, temperatura frunzelor sunt trăsături importante pentru screening-ul genotipurilor de floarea-soarelui în programele de selecție datorită simplității măsurării. Se consideră că liniile tolerante cu temperatură mai scăzută a frunzelor pot controla excesul de energie a luminii care poate fi disipată sub formă de căldură sau reemisă ca fluorescență a clorofilei. Reducerea fluorescenței clorofilei Fv/Fm după stresul

sever a fost raportată în frunzele de floarea-soarelui expuse unui aport limitat de apă. Are loc reducerea conductanţei difuzive a frunzelor şi modularea dezvoltării atât a suprafeţei foliare, cât şi a sistemului radicular. Concomitent cu reducerea suprafeţei foliare scade şi numărul de frunze. Evitarea deshidratării frunzelor se poate face inclusiv prin reducerea transpiraţiei [14, 23].

CONCLUZII

Selecția pe bază de fenotip este o practică comună în ameliorarea plantelor de cultură tolerante la secetă. Pentru a îmbunătăți și mai mult eficiența programelor de ameliorare, cercetătorii au identificat un șir de trăsături fiziologo-morfologice utile în discriminarea rapidă și mai puțin laborioasă a genotipurilor pentru toleranța la secetă. Deși mecanismele de toleranță la secetă sunt foarte complexe, anumite trăsături, precum sistemul radicular mai bine dezvoltat, cu volum, lungime totală și biomasă mai mare, conținutul mai înalt de clorofilă și apă relativă în frunze, potențialul de ajustare osmotică indică, de regulă, asupra unor performanțe mai bune în condiții de secetă. De remarcat că fiecare dintre metodologiile aplicate pe lângă avantajele evidente au și un șir de limitări care creează impedimente în aprecierea corectă a genotipurilor. În acest context, pentru screening-ul și dezvoltarea hibrizilor de floarea-soarelui mai bine adaptați la stresul hidric, ar trebui să fie asociați, la diferite etape de selecție, mai mulți indicatori morfo-fiziologici, biochimici, inclusiv combinarea acestora cu abordările genetico-moleculare și implicarea unor instrumente de analiza (statistici descriptive, corelative și multicoliniaritate, analiza varianței ANOVA, componentelor principale etc.) pentru stabilirea relațiilor dintre diverse trăsături, factorii de mediu și randamentul culturii.

REFERINȚE

1. VOGEL, E. et al. The effects of climate extremes on global agricultural yields. In: *Environmental Research Letters.* 2019. 14.5: 054010
2. AHMAD, S. , AHMAD, R., YASIN, M. A., et al. Sunflower (*Helianthus annus* L.) response to drought stress at germination and seedling growth stages. In: *Pak. J. Bot.* 2009. 41(2), p. 647-654.
3. DARBANI, S.P., MEHRABI, A.A., PORDAD, S.S. et al., Effect of drought stress on agro-morphological traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes and identification of informative ISSR markers. In: *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization.* 2020. 18(2), p. 49-62.
4. RAZZAQ H. et al. Screening of sunflower (*Helianthus annus* L.) accessions under drought stress conditions, an experimental assay. In: *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2017. 17(3), p. 662-671.
5. NAGARATHNA, T.K., SHADAKSHARI, Y.G., et al. Examination of root characters, isotope discrimination, physiological and morphological traits and their relationship used to identify the drought tolerant sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes. In. *Helia.* 2012. 35(56), p. 1–8.

6. HUSSAIN, M., FAROOQ, S., HASAN, W., et al. Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. In: Agricultural Water Management, 2018. 201, p. 152–166.
7. SHEN, J., WANG, X., SONG, H. et al. Physiology and transcriptomics highlight the underlying mechanism of sunflower responses to drought stress and rehydration, In: *iScience*, Volume 26, Issue 11, 2023, 108112.
8. SAUDY, H.S., EL–BIALLY, M., EL–METWALLY, I.M., SHAHIN, M.G. Physio–biochemical and agronomic response of ascorbic acid treated sunflower (*Helianthus annuus*) grown at different sowing dates and under various irrigation regimes. In: *Gesunde Pflanz.* 2021. 73, p. 169–179
9. CLAPCO, S., TABARA, O., MUTU, A. et al. Screening of some sunflower hybrids for drought tolerance under laboratory conditions,În: *Lucrări Ştiinţifice. seria Agronomie*. 2018. vol. 61(1), p. 205-210.
10. VASSILEVSKA-IVANOVA, R., SHTEREVA, L., KRAPTCHEV, B., KARCEVA, T. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L) genotypes to PEG-mediated water stress. In: *Open Life Sciences*, vol. 9, no. 12, 2014, pp. 1206-1214.
11. ABBAS, A., BASHIR, A., ASHRAF, K. et al. Screening of morphological traits in sunflower (*Helianthus annus* L.) under normal and drought stress. In: *JETIR*. 2023, Volume 10, Issue 11.
12. MWALE, S.S., HAMUSIMBI, C., MWANSA, K. Germination emergence and growth of sunflower (Helianthus annuus L.) in response to osmotic seed priming, Seed Sci. Technol., 2003, 31, 199-206
13. HANKERGOUD, I., SHESHAIAH, K. C. Rapid *in vitro* screening of sunflower genotypes for moisture stress tolerance using PEG-6000. In: *19th International Sunflower Conference,* Edirne, Turkey, 2016, p. 705- 715
14. SHI H, WU Y, YI L. et al. Analysis of QTL mapping for germination and seedling response to drought stress in sunflower (*Helianthus annuus L.*). In: *PeerJ*. 2023. 3;11:e15275SCAPINELLI, A, DEINA, FR, VALADAO, DD, et al. Root system and productive components of the sunflower in a compacted soil. In: *Bragantia.* 2016. 75, p. 474–486.
1. SCAPINELLI, A, DEINA, FR, VALADAO, DD, et al. Root system and productive components of the sunflower in a compacted soil. In: *Bragantia.* 2016. 75, p. 474–486.
2. ANGADI, S. V., ENTZ, M. H. Water Relations of Standard Height and Dwarf Sunflower Cultivars, In: *Crop Science*, 2002,Volume 42, Issue1, p. 152-159.
3. ANTON, F. G., CONȚESCU, L., JOIȚA-PĂCUREANU, M. et al. Identification of sunflower genotypes tolerant at drought. In: *Lucrări Ştiinţifice. seria Agronomie*. 2023. vol. 66(1), p. 79-84.
4. RAUF S, SADAQAT HA, AHMAD R, KHAN IA. 2009. Genetics of root characteristics in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under contrasting water regimes. *Ind J. Plant Physiol* 14: 319–327

5. RAUF, S. AND SADAQAT, H. A., 2008, Effect of osmotic adjustment on root length and dry matter partitioning in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress. Acta Agric. Scand. Sect. B-Soil Plant Sci. 58 : 252 – 260
6. JAVAID, T, BIBI, A, SADAQAT, H, JAVED, S. Screening of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids for drought tolerance at seedling stage. In: *International Journal of Plant Science and Ecology.* 2015. 1:616.
7. MANIVANNAN, P., RABERT, G. A., RAJASEKAR, M., SOMASUNDARAM, R. Drought stress-induced modification on growth and pigments composition in different genotypes of *Helianthus annuus* L. In: *Current Botany.* 2014. Vol. 5, p. 7-13
8. PEKCAN, V., EVCI, G., YILMAZ, M. et al. Effects of Drought Stress on Sunflower Stems and Roots, In: *IJSRST*. 2015. Volume 1, Issue 6
9. PETCU, E., GEORGESCU, F., ARSINTESCU, A., STANCIU, D., The effect of hydric stress of some characteristics of sunflower plants. In: *Romanian Agricultural Research,* 2001. 16, vol. 15-22.
10. MASALIA, R.R., TEMME, A.A., TORRALBA, N.L., BURKE, J.M. Multiple genomic regions influence root morphology and seedling growth in cultivated sunflower (*Helianthus annuu*s L.) under well-watered and water-limited conditions. In: *PLoS One*. 2018. 13(9):e0204279.
11. GEETHA, A., SIVASANKAR, A., PRAYAGA, L., et al. Screening of sunflower genotypes for drought tolerance under laboratory conditions using PEG. In: *Journal of Breeding and Genetics*. 2012. Vol. 44(1), p. 28-41
12. CASADEBAIG, P., DEBAEKE, P., LECOEUR, J. Thresholds for leaf expansion and transpiration response to soil water deficit in a range of sunflower genotypes. In: *European Journal of Agronomy.* 2008. 28(4), p. 646–654.
13. GUL, R. M. S. et al. Evaluation of drought-tolerant sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in autumn and spring planting under semi-arid rainfed conditions. In: *OCL.* 2021.
14. SOUQUES, L., ALLETTO, L., BLANCHET, N. et.al. Cover crop residues mitigate impacts of water deficit on sunflower during vegetative growth with varietal differences, but not during seed development. In: *European Journal of Agronomy*, 2024. 155, 127139
15. DONG, N., PRENTICE, I. C., WRIGHT, et al. Components of leaf-trait variation along environmental gradients. In: *New Phytologis*t. 2020. Vol. 228, p. 82–94.
16. HUSSAIN, M. M., RAUF, S., WARBURTON, M. L. Development of drought-tolerant breeding lines derived from *Helianthus annuus* × *H. argophyllus* interspecific crosses. In: *Plant Breeding.* 2019. doi:10.1111/pbr.12731

NOTĂ. Studiul a fost realizat în cadrul Subprogramului „*011101 Abordări genetice și biotehnologice de management al agroecosistemelor în condițiile schimbărilor climatice*”, finanțat de Ministerul Educației și Cercetării.