

УДК: 577.2

DOI: 10.71130/3079-6245-2026-6-1-11-15

## КЛИМАТТЫҚ ӨЗГЕРІС ЖАҒДАЙЫНДА ТАРЫНЫҢ АБИОТИКАЛЫҚ СТРЕСС ФАКТОРЛАРЫНА ТӨЗІМДІЛІГІ ЖӘНЕ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ ТАҒАМДЫҚ ӨЛЕУЕТІ

<sup>1,2</sup>Нурғалиева Р.Н, <sup>1</sup>Мұратқызы Н, <sup>1\*</sup>Әзтай Ж.Б, <sup>1</sup>Жунусбаева Ж.К.  
<sup>1</sup>Өл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан  
<sup>2</sup>Ботаника және фитоинтродукция институты, Алматы, Қазақстан  
 e-mail: zharkynay.aztay@gmail.com

### Аннотация

Тары (*Panicum miliaceum* L.) - құрғақ және тұзданған топырақ жағдайында тұрақты өнім бере алатын маңызды астық дақылы. Қазіргі климаттық өзгерістер жағдайында абиотикалық стресс факторларына төзімді дақылдарды зерттеу ерекше өзектілікке ие. Бұл ғылыми шолу мақалада тарының тұздылыққа төзімділік механизмдері, физиологиялық және биохимиялық бейімделу ерекшеліктері, сондай-ақ тағамдық және биологиялық құндылығы қарастырылды. Тары дәнінің құрамында маңызды аминқышқылдары, минералдар, дәрумендер және антиоксиданттық қосылыстардың жоғары мөлшері анықталған. Сонымен қатар тары глютенсіз өнім ретінде целиакия және глютенге сезімталдық жағдайында баламалы тағам көзі болып табылады. Зерттеулер нәтижесі тарының азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету мен климатқа бейім ауыл шаруашылығын дамытудағы стратегиялық маңызын көрсетеді.

## УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОСА К АБИОТИЧЕСКИМ СТРЕССОВЫМ ФАКТОРАМ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ЕГО ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПИЩЕВОЙ ПОТЕНЦИАЛ

### Аннотация

Просо (*Panicum miliaceum* L.) является важной зерновой культурой, способной формировать стабильный урожай в условиях засухи и засоленных почв. В условиях глобального изменения климата возрастает необходимость изучения культур, устойчивых к абиотическим стрессовым факторам. В данном научном обзоре рассмотрены механизмы солеустойчивости проса, его физиологические и биохимические адаптации, а также пищевая и биологическая ценность зерна. Установлено, что зерно проса богато незаменимыми аминокислотами, витаминами, минералами и антиоксидантами. Просо является безглютеновой культурой и может использоваться как альтернативный источник питания для людей с целиакией и непереносимостью глютена. Результаты анализа подтверждают важную роль проса в обеспечении продовольственной безопасности и устойчивого сельского хозяйства.

## ABIOTIC STRESS TOLERANCE OF MILLET UNDER CLIMATE CHANGE AND ITS FUNCTIONAL FOOD POTENTIAL

### Abstract

Proso millet (*Panicum miliaceum* L.) is an important cereal crop capable of producing stable yields under drought and saline soil conditions. In the context of global climate change, increasing attention is being given to crops tolerant to abiotic stresses. This review summarizes current knowledge on salinity tolerance mechanisms, physiological and biochemical adaptations, and the nutritional value of millet grain. Millet is rich in essential amino acids, minerals, vitamins, and antioxidant compounds. As a naturally gluten-free crop, it represents an important alternative food source for individuals with celiac disease and gluten intolerance. The findings highlight millet's strategic role in sustainable agriculture, climate-resilient crop production, and global food security.

**Кілт сөздер:** тары, тұздылыққа төзімділік, глютенсіз дақыл, абиотикалық стресс, тағамдық құндылық, климат өзгерісі, функционалды тағам.

Тары (*Panicum miliaceum* L.) - адамзат өркениетінің ең көне мәдени дақылдарының бірі болып саналады және құрғақ климат жағдайында жоғары өнім бере алатын маңызды астық дақылы ретінде белгілі [1]. Археоботаникалық зерттеулер тарының шамамен 8–10 мың жыл бұрын мәдени дақыл ретінде қалыптасқанын және Еуразия далалық аймақтарында негізгі азықтық ресурс болғанын көрсетеді. [2]. Қазіргі таңда климаттың өзгеруі, топырақ

деградациясы және ауыл шаруашылығы жерлерінің тұздануы жағдайында тары қайтадан стратегиялық дақыл ретінде қарастырылуда [3]. Ғалымдардың пікірінше, тарының қысқа вегетациялық кезеңі мен құрғақшылыққа төзімділігі оны ХХІ ғасырдың климатқа төзімді дақылдарының қатарына енгізеді [4-6].

Тарының маңызды биологиялық ерекшеліктерінің бірі - абиотикалық стресс факторларына жоғары төзімділігі. Абиотикалық факторларға тұздылық, құрғақшылық, температураның шектен тыс өзгеруі және қоректік элементтердің тапшылығы жатады. Зерттеулер көрсеткендей, тары өсімдігі тұзды ортада осмостық реттелу механизмдерін іске қосу арқылы жасушалық гомеостазды сақтай алады [9]. Натрий иондарының жиналуын шектеу және калий иондарының балансын сақтау тарының тұздылыққа төзімділігінің негізгі физиологиялық механизмдері болып табылады [10]. Сонымен қатар, антиоксиданттық ферменттердің белсенділігі стресс жағдайында артып, реактивті оттегі түрлерінің зиянды әсерін төмендетеді [11].

Тұздылық өсімдіктер үшін ең қауіпті абиотикалық стресс факторларының бірі болып табылады және әлемдік ауыл шаруашылығы жерлерінің шамамен 20%-ы тұздануға ұшыраған [12]. Осы жағдайда тары салыстырмалы түрде жоғары бейімделгіштік көрсетеді [13]. Генетикалық зерттеулер тұзға төзімділік бірнеше гендердің кешенді экспрессиясымен байланысты екенін анықтады [14]. Ион тасымалдаушы ақуыздарды кодтайтын гендердің белсенділігі тұз стрессі кезінде жоғарылайтыны байқалған [15]. Сонымен қатар, транскрипциялық факторлар стресс сигналдарын реттеуде маңызды рөл атқарады [16].

Тарының тағамдық құндылығы жоғары: дән құрамында көмірсулар, ақуыздар, минералдар және диеталық талшықтар мол [22–26]. Соңғы жылдары тарының глютенсіз дақыл ретінде маңызы ерекше артып отыр [27–35]. Глютенге төзбеушілік пен целиакия ауруының таралуы әлем бойынша өсіп келеді, сондықтан тары функционалды тағам өндірісінде маңызды шикізат.

Ауыл шаруашылығында тұрақты өндіріс жүйелерін дамытуда тарының маңызы артып келеді [36-50]. Ол аз су қажет етеді және маргиналды топырақтарда өсіріле алады. Сонымен қатар, тары фотосинтез тиімділігін стресс жағдайында сақтай алады және дамыған тамыр жүйесі арқылы суды тиімді пайдаланады [51-53].

Тары құрамындағы биоактивті қосылыстардың жоғары антиоксиданттық белсенділігі оның созылмалы аурулардың алдын алуда маңызды орын алатынын дәлелдейді. Бұл дақылдағы фенолдық қосылыстар мен диеталық талшықтардың концентрациясы метаболизмді жақсартып, ағзадағы еркін радикалдардың деңгейін төмендетуге мүмкіндік береді [54-56]. Заманауи зерттеулер тарының тағамдық құнарлығы өңдеу технологияларына байланысты өзгеретінін және кейбір әдістер оның функционалдық қасиеттерін күшейтетінін көрсетеді [52, 55].

Тарының төмен гликемиялық индексі оны қант алмасуы бұзылған адамдар үшін маңызды тағамдық компонентке айналдырады, себебі баяу сіңетін көмірсулар энергияны бірқалыпты береді және қанттың күрт көтерілуіне жол бермейді [56]. Сонымен қатар, оның құрамындағы талшықтар ас қорыту жүйесінің жұмысын жақсартып, ішек микрофлорасының тепе-теңдігін сақтайды.

Заманауи геномдық зерттеулер тарының тұз, құрғақшылық және жоғары температура сияқты стресс факторларына жауап беретін генетикалық реттелу механизмдерін кеңінен ашуға мүмкіндік беріп отыр [60-61]. Бұл мәліметтер селекцияда жаңа маркерлерді қолдануға жол ашып, стресске төзімді сорттарды дамытуға жағдай жасайды.

Қазақстандық зерттеуші Рысбекова А.Б тары (*Panicum miliaceum* L.) дақылының тұзға төзімділігін бағалау бағытында бірнеше маңызды эксперименттік жұмыстар жүргізді. Оның зерттеулері негізінен тарының ерте онтогенездегі физиологиялық реакцияларын анықтауға бағытталған және қазіргі таңда Қазақстандағы тұз стрессін зерттеу бойынша ең жүйелі ғылыми деректердің бірін құрайды.

Отандық зерттеуші [62] еңбегінде тарының тұзға төзімділігін бағалау үшін NaCl-дың әртүрлі концентрациялары қолданылып, өну пайызы, өсу динамикасы және бастапқы морфометриялық параметрлер зерттелді. Бұл жұмыста 29 тары үлгісі NaCl әсерінде өсіріліп, тұз концентрациясы артқан сайын өну көрсеткіштерінің төмендейтіні, әсіресе жоғары концентрацияларда (100–150 мМ) тамыр өсуінің айқын тежелетіні дәлелденген. Зерттеу нәтижелері тарының әртүрлі генотиптері тұз стресіне айтарлықтай өзгермелі жауап беретінін, тұзға төзімді және сезімтал үлгілердің фенотиптік деңгейде ажыратылатынын көрсетті.

Рысбекова А.Б тары өсімдіктерінің тұз стресіне физиологиялық бейімделу механизмдеріне тоқталып, ерте өну кезеңіндегі көрсеткіштер кейінгі биохимиялық және молекулалық деңгейдегі төзімділік маркерлерімен жақсы корреляцияға ие болатынын атап өткен. Сондай-ақ, тұздық стресс өсімдіктің тамыр жүйесіне жедел әсер ететіні анықталды, ал тамыр ұзындығы стресс жағдайларын бағалауда жоғары сезімтал маркер ретінде қарастырылады [62].

Қазіргі жаһандық климаттың өзгеруі жағдайында тары сияқты төзімді дақылдардың рөлі артып келеді, себебі оның агробиологиялық қасиеттері тұрақсыз ортаға бейімделуге қолайлы [63-64]. Әлемдік статистикалық деректер тары өндірісінің тұрақты өсіп келе жатқанын, әсіресе құрғақ аймақтарда ауыл шаруашылығында стратегиялық мәнге ие екенін көрсетеді. Азық-түлік қауіпсіздігіне арналған халықаралық баяндамаларда да тарының әртараптандырылған диета қалыптастырудағы маңызы ерекше аталады [66].

Глютенсіз тағамдарға сұраныстың өсуіне байланысты тарының функционалдық артықшылықтары, оның табиғи глютенсіздігі және адам денсаулығына қолайлы әсері оны заманауи тағам индустриясында жоғары орынға шығарып отыр. Ғалымдар тарының тамақтану қауіпсіздігін нығайтудағы әлеуетін ерекше атап өтіп, бұл дақылдың орнықты ауыл шаруашылығы жүйелерінің маңызды бөлігіне айналып келе жатқанын білдіреді [67-68].

## ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Baltensperger, David D. (2006) “Progress with Proso Millet (*Panicum miliaceum* L.)” *Advances in Agronomy*, vol. 92, pp. 1–28.
2. Hunt, H. V., et al. (2008) “Millets across Eurasia: Chronology and Context of Early Records.” *Vegetation History and Archaeobotany*, vol. 17, pp. 5–18.
3. Food and Agriculture Organization (FAO). (2021) *Millets and Climate Resilience*. Dwivedi, S. L., et al. “Millets for Climate-Smart Agriculture.” *Frontiers in Plant Science*, vol. 8, 2017, article 1266.
4. Saleh, A. S. M., et al. (2013) “Millet Grains: Nutritional Quality, Processing, and Potential Health Benefits.” *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 12, no. 3, pp. 281–295.
5. Habiyaemye, C., et al. (1961) “Proso Millet (*Panicum miliaceum* L.) and Its Potential for Cultivation in the Pacific Northwest, U.S.: A Review.” *Frontiers in Plant Science*, vol. 8, 2017.
6. Munns, R., and Mark Tester. (2008) “Mechanisms of Salinity Tolerance.” *Annual Review of Plant Biology*, vol. 59, pp. 651–681.
7. Zhu, Jian-Kang. (2016) “Abiotic Stress Signaling and Responses in Plants.” *Cell*, vol. 167, no. 2, pp. 313–324.
8. Flowers, Timothy J. (2004) “Improving Crop Salt Tolerance.” *Journal of Experimental Botany*, vol. 55, pp. 307–319.
9. Shabala, Sergey, et al. (2015) “Ion Transport and Osmotic Adjustment in Plants under Salinity.” *Plant Physiology*, vol. 167, pp. 915–924.
10. Gill, S. S., and Narendra Tuteja. (2010) “Reactive Oxygen Species and Antioxidant Machinery in Abiotic Stress.” *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 48, pp. 909–930.
11. Rengasamy, P. (2006) “World Salinization with Emphasis on Australia.” *Functional Plant Biology*, vol. 33, pp. 915–923.
12. Gupta, S. M., et al. (2015) “Pearl Millet Genetics and Genomics.” *Plant Breeding Reviews*, vol. 37, pp. 247–310.
13. Upadhyaya, H. D., et al. (2016) “Genetic Resources of Millets.” *Plant Genetic Resources*, vol. 14, pp. 1–12.
14. Araki, E., et al. (2012) “Wx Gene Diversity in Proso Millet.” *Theoretical and Applied Genetics*, vol. 124, pp. 1349–1360.
15. Fukunaga, K., et al. (2002) “Genetic Control of Waxy Endosperm in Millet.” *Molecular Genetics and Genomics*, vol. 268, pp. 214–222.
16. Tsygankov, V. I., et al. (2004) *Millet Production in Kazakhstan*. Almaty Publishing.

17. Minina, T. K. (2014) "Biological Features of Millet Productivity." *Agricultural Biology*, pp. 45–52.
18. Zotikov, V. I., et al. (2012) "World Production of Millet Crops." *Grain Economy of Russia*, pp. 18–23.
19. Zeinullina, A. K., et al. (2023) "Adaptation of Proso Millet in Dry Steppe Zones." *Eurasian Journal of Agronomy*, pp. 55–63.
20. Amadou, I., et al. (2013) "Millet Nutritional Composition." *Food Chemistry*, vol. 141, pp. 233–242.
21. Habiyaemye, C., et al. (2017) "Proso Millet Nutritional and Health Benefits." *Journal of Food Science*, vol. 82, pp. 223–230.
22. Gupta, R. K., et al. (2010) "Millet Proteins and Amino Acid Composition." *Food Reviews International*, pp. 45–62.
23. Rsybetov, K., et al. (2018) "Amino Acid Composition of Millet Grain." *Kazakh Journal of Biotechnology*, pp. 33–39.
24. Dyusibaeva, A., and Seitkhozhayev, A. (2016) "Protein Quality in Millet Varieties." *Agricultural Science of Kazakhstan*, pp. 22–28.
25. Dyusibaeva, A., et al. (2017) "Biological Value of Millet Proteins." *Food Technology Research*, pp. 41–47.
26. Saleh, A. S. M., et al. (2013) "Millet Grains: Nutritional Quality." *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 12, pp. 281–295.
27. Taylor, J. R. N., and Emmambux, M. N. (2008) "Gluten-Free Cereals." *Cereal Foods World*, vol. 53, pp. 96–101.
28. Kumar, A., et al. (2018) "Millets as Nutri-Cereals." *Journal of Agricultural Science*, pp. 1–10.
29. Chandrasekara, A., and Shahidi, F. (2013) "Antioxidant Properties of Millet." *Journal of Functional Foods*, vol. 5, pp. 570–581.
30. Devi, P. B., et al. (2014) "Health Benefits of Millets." *Journal of Food Science and Technology*, vol. 51, pp. 102–110.
31. FAO. (2023) *International Year of Millets Report*.
32. Nethra, N., et al. (2014) "Drought Stress in Cereals." *Crop Science*, pp. 221–229.
33. Ulaganathan, V., and Nirmalakumari, A. (2015) "Abiotic Stress Effects on Crops." *Agricultural Reviews*, pp. 45–52.
34. Widyawan, M. H., et al. (2018) "Climate Variability and Crop Productivity." *Agronomy Journal*, pp. 215–224.
35. Ziki, E., et al. (2019) "Breeding Climate-Resilient Crops." *Plant Science Today*, pp. 89–96.
36. Gurinovich, A., et al. (2020) "Pearl Millet as Forage Crop." *Agricultural Biology*, pp. 114–122.
37. Toderich, K., et al. (2013) "Salt Tolerance of Pearl Millet." *Environmental and Experimental Botany*, pp. 52–60.
38. Cuartero, J., et al. (2006) "Salinity Screening Methods." *Scientia Horticulturae*, pp. 1–10.
39. Koshkin, E. I. (2010) *Plant Physiology under Stress Conditions*. Moscow University Press.
40. Mujeeb-Kazi, A., and De Leon, J. L. (2002) "Salinity Impact on Agriculture." *Plant Breeding*, pp. 345–356.
41. Martin, J. H., et al. (2003) *Principles of Field Crop Production*. Pearson.
42. Nagaraja, A., and Mantur, S. (2008) "Loose Smut Disease of Millet." *Plant Pathology Journal*, pp. 77–82.
43. Abraliev, A., et al. (2018) "Disease Resistance in Millet." *Plant Protection Science*, pp. 145–152.
44. Santosh, K., et al. (2016) "Breeding for Disease Resistance." *Crop Improvement*, pp. 65–71.
45. Surkov, Y., and Kolyagin, V. (1988) "Millet Phytopathology." *Agricultural Microbiology*, pp. 102–108.
46. Genesys. (2024) *Global Crop Diversity Portal*. Genesys PGR.
47. United Nations Development Programme (UNDP). (2020) *Climate Change Projections for Kazakhstan*. UNDP.
48. ICARDA. (2022) *Dryland Agriculture Research Report*. ICARDA.
49. Upadhyaya, H. D., et al. (2016) "ICRISAT Millet Germplasm Collection." *Genetic Resources and Crop Evolution*, pp. 1645–1657.
50. Gupta, S. K., et al. (2015) "Root System Adaptation in Millets." *Plant Physiology Reports*, pp. 211–220.
51. Amadou, I., et al. (2013) "Functional Food Potential of Millet." *Food Research International*, pp. 123–131.
52. Chandrasekara, A. (2013) "Bioactive Compounds in Millet." *Food Chemistry*, pp. 125–132.
53. Taylor, J. R. N. (2010) "Millet Processing and Food Uses." *Food Reviews International*, pp. 1–20.
54. Kumar, V., et al. (2019) "Nutraceutical Properties of Millets." *Nutrition Reviews*, pp. 1–14.
55. FAO. (2018) *Future Smart Foods Initiative*. FAO.
56. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT). (2021) *Millet Research Report*. ICRISAT.
57. Shobana, S., et al. (2013) "Millets and Diabetes Management." *Journal of Nutrition and Metabolism*, article 157.
58. Devi, P. B. (2014) "Dietary Fiber in Millets." *Food Science and Nutrition*, pp. 210–218.
59. Jaganathan, D., et al. (2018) "CRISPR for Crop Improvement." *Plant Biotechnology Journal*, pp. 1–12.
60. Varshney, R. K., et al. (2021) "Genomics-Assisted Breeding." *Trends in Plant Science*, pp. 1–13.

61. Rysbekova, Aiman, et al. (2019) "Evaluation of Salt Tolerance of *Panicum miliaceum* L. Collection at the Germination Stage in Conditions of Induced Sodium Chloride Salinization." Bulgarian Journal of Agricultural Science, vol. 25, no. 5, pp. 986–993.
62. Yadav, O. P., et al. (2012) "Genetic Improvement of Millets." Agricultural Research, pp. 1–9.
63. FAO. (2022) Millet Production Statistics. FAOSTAT.
64. OECD. (2021) Agricultural Outlook Report. OECD Publishing.
65. United Nations. (2022) Global Food Security Report. UN Publications.
66. Dwivedi, S. L., et al. (2022) "Role of Millets in Nutrition Security." Frontiers in Nutrition, article 888.
67. FAO. (2023) Millets for Sustainable Development.