

УДК 581.1:633.11:632.112
DOI 10.31654/2786-8478-2023-BN-1-52-58

Паливода Ю. М.

аспірантка Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя
yulia.palivoda@gmail.com
orcid.org/0000-0001-6544-3441

Гавій В. М.

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології
Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя
gaviyv@gmail.com
orcid.org/0000-0002-2804-0456

**ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ
АДАПТИВНОЇ ВІДПОВІДІ РОСЛИН В УМОВАХ ВОДНОГО ДЕФІЦИТУ**

Несприятливі умови навколишнього середовища негативно впливають на фізіологічні процеси росту і розвитку сільськогосподарських рослин та призводять до зниження урожайності. Одним із найгостріших серед усіх природних чинників є водний дефіцит, спричинений посухою.

Упродовж онтогенезу рослини постійно стикаються з посухою. Під час посухи внаслідок різкого зниження відносної вологості повітря та підвищення температури рослини перегріваються, втрачають воду. У них виникає водний дефіцит. У результаті припиняється ріст, знижується продуктивність, іноді рослина гине. У відповідь на дефіцит води рослини розвивають різні складні механізми стійкості та адаптації, тобто здатність витримувати значне зневоднення та перегрів, зберігаючи при цьому нормальний ріст, розвиток та здатність до відтворення.

Водний потенціал рослин підтримується на високому рівні за рахунок ксероморфної характеристики: добре сформованими кореневими системами, зменшенням кількості листків на рослині, зменшенням розміру листків та зниження продукції транспірації.

Важливим механізмом посухостійкості сільськогосподарських культур визнано осмотичне регулювання, яке реалізується шляхом зниження осмотичного потенціалу за рахунок накопичення органічних і неорганічних осмолітів (проліну, аланіну, валіну, тощо) у відповідь на дефіцит води.

Питання щодо вивчення посухостійкості зернових культур, є актуальними, оскільки вони орієнтовані на вивчення реакцій рослин на водний стрес та впровадження методів підвищення стійкості рослин до посухи.

***Ключові слова:** посуха, посухостійкість, водний дефіцит, осмотичний потенціал, пігментна система рослин.*

Серед усіх природних чинників, що найбільш негативно впливають на фізіологічні процеси росту і розвитку сільськогосподарських культур та призводять до зниження урожаю, є водний дефіцит, спричинений посухою.

Для України посухи останнім часом стали звичайним явищем. Посуха є фізіологічною формою водного дефіциту, при якій ґрунтова вода, доступна рослині, є недостатньою, що негативно впливає на її метаболізм [1]. Негативний вплив посухи варіює від морфологічного до молекулярного рівнів на всіх стадіях онтогенезу рослин. Справляючись з дефіцитом води, рослини розвивають різні складні механізми стійкості та адаптації, включаючи фізіологічні та біохімічні реакції [2].

Питання щодо вивчення механізмів посухостійкості є актуальними, оскільки вони орієнтовані на вивчення реакцій рослин на водний дефіцит та впровадження методів підвищення стійкості рослин до посухи.

Під посухою розуміють довготривалий період без дощів, що супроводжується підвищенням температури повітря. Посуха – найпоширеніший несприятливий абіотичний чинник середовища, з яким рослини стикаються упродовж онтогенезу.

Виділяють дві основні форми посухи – ґрунтову і атмосферну, які залежно від комбінацій окремих метеорологічних факторів – опадів, температури повітря і ґрунту, вологості повітря, сили вітру, а також часу вияву, складають різноманітні варіації типу посухи [3]. Важливою різницею між ґрунтовою і атмосферною посухою є те, що ґрунтова посуха наростає поступово і рослини встигають по мірі поступового зневоднення ґрунту певною мірою пристосуватись до умов, тоді як атмосферна посуха – настає швидко і рослини не встигають адаптуватися до неї.

Здатність рослин витримувати значне зневоднення та перегрів, зберігаючи при цьому нормальний ріст, розвиток та здатність до відтворення називають посухостійкістю [4]. В одних випадках посухостійкість зумовлена пристосуванням до нестачі води в атмосфері (атмосферна посуха), в інших – до нестачі води в ґрунті (ґрунтова посуха). Під час посухи внаслідок різкого зниження відносної вологості повітря та підвищення температури вибагливі до вологи рослини перегріваються, втрачають воду. У них виникає водний дефіцит, що викликає в'янення. Зневоднення та перегрівання призводять до порушення метаболічних процесів у рослинах, що призводить до розпаду білків, зміни колоїдно-хімічного стану цитоплазми клітини [5]. У результаті припиняється ріст, знижується продуктивність, іноді рослина гине.

Відповідь рослин на дефіцит води охоплює кілька типів адаптацій, які регулюють водний баланс та фізіологічні функції рослин зменшенням листової поверхні, проривової транспірації, збільшенням співвідношення корінь/пагін [6].

Першим і головним ефектом посухи є погіршення проростання насіння [7]. Дефіцит вологи в ґрунті серйозно знижує схожість насіння. У процесі проростання насіння зародок, використовуючи запасні поживні речовини насінини, перетворюється на проросток, який здатний самостійно житися [8]. Водний дефіцит призводить до пригнічення проростання насіння шляхом уповільнення надходження в нього води, впливаючи на мобілізацію поживних резервів насінини, що проростає.

Коренева система перша реагує на зміну вмісту води у ґрунті [9]. Корені рухаються за водою і формують стресовий сигнал у відповідь на зміну водного потенціалу середовища. Вважають, що в умовах посухи корені індукують хімічний і гідравлічний сигнали. Головним компонентом хімічного сигналу є АБК, яка індукує замикання продихів і координує ріст рослин у відповідь на зміну умов середовища. У формуванні сигналу беруть участь і цитокініни, які передають інформацію про нестачу вологи до пагона. Гідравлічний сигнал регулює надходження води та її використання.

Зменшення доступності води під час посухи, як правило, призводить до обмеженого загального поглинання поживних речовин і зниження їх концентрації в тканинах культурних рослин [10]. Однак види рослин і генотипи виду можуть відрізнятися за своєю реакцією на поглинання мінералів під час водного стресу. Загалом, стрес спричинений посухою викликає збільшення потреби N, P та K.

Однією із загальних реакцій рослин на сигнали коренів на дефіцит води у ґрунті є закривання продихів. Закривання продихів регулює інтенсивність транспірації, зменшує втрати води за умов її дефіциту, надходження вуглекислого газу до місць його асиміляції, а також погіршує мінеральне живлення рослин через зменшення ксилемної провідності [11].

Зменшення провідності продихів вважають головним обмежувачем фотосинтетичного процесу.

Фотосинтетична система дуже чутлива до гальмівних факторів навколишнього середовища, і стрес від посухи призводить до пошкодження реакційних центрів [12]. Сучасний стан досліджень проблеми фотосинтезу дає підставу вважати, що фотосинтетична діяльність сільськогосподарських культур є основою їх продуктивності й значною мірою залежить від вмісту пігментів у рослинах [13].

Концентрація хлорофілу вважається чутливим індикатором стану рослини і стійкості її до водного стресу. Вчені Ірану та Азербайджану довели, що існує тісна взаємодія між генотипами та водним дефіцитом на вміст хлорофілу у різних сортів твердої пшениці [14]. Згідно їх досліджень вміст хлорофілу під час водного дефіциту

підвищується у сортів, які мають високий індекс посухостійкості і зменшується у нестійких сортів. Це пояснюється вищим рівнем антиоксидантів у посухостійких сортів пшениці та більшою стійкістю молекул хлорофілу до окисного пошкодження.

У багатьох працях повідомляється про зниження вмісту хлорофілу і зміни співвідношення хлорофілів *a* і *b* внаслідок тривалої ґрунтової посухи [15]. У дослідженнях, де вивчали наслідки м'якої і помірної посухи, було показано незмінність вмісту хлорофілів [16].

Вважають, що вміст хлорофілу починає знижуватись тільки тоді, коли асиміляція CO₂ тривалий час була дуже пригніченою. Нетривала ґрунтова посуха не впливала на концентрацію хлорофілу у дослідних рослин посухостійких сортів озимої пшениці [15].

У працях Шматька та співавт. [17] показано, що за умов водного дефіциту посухостійкі сорти озимої пшениці характеризувалися стійкою пігментною системою порівняно із нестійкими сортами.

Щоб підтримувати баланс між водою, яку отримують корені, та станом гідратації тканин, рослини можуть обмежити ріст листків, коли вони виникає водний дефіцит. Зменшення кількості листків на рослині, зменшення розміру листків та збільшення старіння листків – лише деякі з шкідливих наслідків посухи. Іншою важливою фізіологічною реакцією, яка виникає у відповідь на водний дефіцит, є скручування листків, з метою зменшення швидкості транспірації рослини [2].

Рослини з підвищеною посухостійкістю часто мають хромоморфні структури: менші та товстіші листки, більше епідермальних трихом, менші та щільніші продихи, товстіший епідерміс кутикули, більш розвинену судинну систему, тощо рослин [18]. Трихоми епідермісу листків зменшують транспірацію рослин в умовах інтенсивного освітлення та допомагають відбивати світло.

За умов посухи значно пригнічується ріст та розвиток надземних частин проростків пшениці. Морфологічні та фізіологічні реакції листків на стрес від посухи мають вирішальне значення для зменшення втрати води та підвищення ефективності її використання. За дефіциту води листки мають ксеноморфну будову, яка проявляється у зменшенні площі листової поверхні та затримка процесів клітинного росту, кращому розвитку стовпчастої паренхіми [9]. Розмір асиміляційного листового апарату та період його активної дії є прямим показником фотосинтетичної активності рослини [19].

У відповіді на посуху задіяні неспецифічні стресові реакції, в тому числі активується синтез проліну. Акумуляція проліну за дії стресових чинників є індикатором відповіді на стрес на клітинному рівні [20]. Накопичення проліну підтримує осмотичний баланс, запобігає дезінтеграції мембран та інактивації ферментів в умовах зневоднення клітин. Пролін також має антиоксидантні властивості [21].

Одним із механізмів адаптивної реакції пшениці на низький вміст води є розвиток потужної кореневої системи. Завдяки добре розвиненій кореневій системі, пшениця може засвоювати поживні елементи з глибших шарів ґрунту. В умовах посухи корінь починає інтенсивно рости, щоб знайти воду, а надземні органи затримуються у розвитку. Це співвідношення росту коренів та пагонів при недостатці вологи, є адаптацією до посушливих умов, щоб підтримувати баланс між водою, яку отримують корені та станом гідратації тканин [22]. Протягом тривалого часу співвідношення коренів до пагонів використовувалося як критерій для характеристики посухостійкості рослин [6]. Коренева система відіграє важливе значення у відповідь на посуху, так як рослини постійно отримують через корені із ґрунту воду з розчиненими в ній поживними речовинами. Завдяки розгалуженій кореневій системі та значній глибині вкорінення рослини здатні підтримувати вищий водний потенціал і більш тривалу транспірацію в умовах посухи, що забезпечує додаткові переваги для їхнього росту та розвитку. На глибину, об'єм і розподіл коренів в основному впливають глибина і діапазон вологості ґрунту.

Одним з основних механізмів посухостійкості рослин визнано осмотичне регулювання, яке реалізується шляхом зниження осмотичного потенціалу за рахунок накопичення органічних і неорганічних осмолітів у відповідь на дефіцит води. Цей механізм проявляється у всіх клітинах рослин [6]. Одним з маркерів індукованої

стійкості рослин до посухи є підвищення вмісту проліну [23]. Накопичення проліну сприяє знешкодженню аміаку, який утворився внаслідок дезамінування вільних амінокислот під впливом дефіциту вологи. Крім того, пролін, як гідрофільна амінокислота, значно впливає на гідратацію протоплазматичних структур і метаболічні процеси. На думку деяких вчених, пролін при погіршеному водозабезпеченні виконує не тільки захисну роль, тому що знешкоджує аміак, але й регуляторно-метаболічну роль через підвищення наводненості клітин і стабілізацію біохімічних процесів, які відповідають за гомеостаз на клітинному рівні [18].

Висновки. Отже, посуха є найпоширенішим несприятливим абіотичним чинником навколишнього середовища. Реакція рослин на стрес посухою, проявляється у накопиченні в них активних форм кисню, що призводить до багатьох шкідливих наслідків, зокрема, деградації білків, переокиснення ліпідів та зміни колоїдно-хімічного стану цитоплазми клітини. Всі ці зміни призводять до зниження кількості накопиченої рослинами органічної речовини. Справляючись з дефіцитом води, рослини розвивають складні механізми стійкості та адаптації, включаючи фізіологічні та біохімічні реакції.

Питання щодо вивчення механізмів посухостійкості є актуальними, оскільки вони орієнтовані на вивчення реакцій рослин на водний дефіцит та впровадження методів підвищення стійкості рослин до посухи.

Література

1. Oo A.T., van Huylenbroeck G., Speelman. Measuring the Economic Impact of Climate Change on Crop Production in the Dry Zone of Myanmar: A Ricardian Approach. *Climate*. 2020, 8(1), 9.
2. Oguz M., Ayca M., Oguz E., Poyraz I., Yildiz M. Drought Stress Tolerance in Plants: Interplay of Molecular, Biochemical and Physiological Responses in Important Development Stages. *Physiologia*. 2022, 2 (4), 180–197.
3. Деревянко І. О. Селекційна цінність вихідного матеріалу ячменю ярого за посухостійкістю та продуктивністю в умовах східної частини лісостепу України: дис. ... канд. с-г наук: 06.01.05. Харків, 2021. 234 с.
4. Москалець Т. З., Рибальченко В. К. Морфо-фізіологічні та молекулярно-генетичні ознаки ксероморфності *Triticum aestivum* L. *Біологічні системи*. 2015. Т. 7, Вип. 1. С. 45-52.
5. Хоменко С. О. Посухостійкість та елементи продуктивності колекційних зразків пшениці м'якої ярої в умовах Лісостепу України. *Миронівський вісник*. 2017. Вип. 4. С. 79–87.
6. Колодка А. В., Твердохліб О. В. Механізм посухостійкості у рослин. *V Міжнародна конференція молодих учених: Харківський природничий форум (19–20 травня 2022 р., м. Харків)*: збірник тез. Харків, 2022. С. 50–54.
7. Ansari O., Azadi M., Sharif-Zadeh F., Younesi E. Effect of Hormone Priming on Germination Characteristics and Enzyme Activity of Mountain Rye (*Secale montanum*) Seeds under Drought Stress Conditions. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 2013. Vol. 9, No. 3. P. 61–71.
8. Каленська С. М. Насіннезнавство та методи вивчення якості насіння сільсько-господарських культур: навчальний посібник. Вінниця: ФОП Данилюк, 2011. 320 с.
9. Жук О. І. Формування адаптивної відповіді рослин на дефіцит води. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2011. Т. 43(1). С. 26–37.
10. Фізіологія та біохімія рослин: матеріали для опрацювання теми «Водний режим рослин» з курсу «Фізіологія та біохімія рослин» для студентів II та III курсів денної та заочної форми навчання спеціальності «Біологія» біологічного факультету / А. С. Машевська, Т. М. Єрмейчук. Луцьк: Вежа-Друк, 2015. 40 с.
11. Pykalo S. Methods for evaluation of wheat breeding material for drought tolerance, Series Biology. 2020. Issue 82. P. 63–79
12. Khayatnezhad M., Gholamin R. The effect of drought stress on leaf chlorophyll content and stress resistance in maize cultivars (*Zea mays*). *African Journal of Microbiology Research*. 2012. 6 (12), P. 2844–2848.
13. Shin Y.K., Bhandari S.R., Jo J.S., Song J.W., Lee, J.G. Effect of Drought Stress on Chlorophyll Fluorescence Parameters, Phytochemical Contents and Antioxidant Activities in Lettuce Seedlings. *Horticulturae*. 2021. № 7. P. 238.

14. Zaefyzadeh M., Quliyev R.A., Babayeva S.M., Abbasov, M.A. The Effect of the Interaction between Genotypes and Drought Stress on the Superoxide Dismutase and Chlorophyll Content in Durum Wheat Landraces. *Turk J Biol.* 2009. 33. P. 1–7.
15. Моргун В. В., Григорюк І. П., Нижник Т. П. Пігментний фонд хлоропластів в листках сортів за умов посухи та обробки полістимуліном К. *Наукові записки Тернопіль. пед. ун-ту. Сер. Біологія.* 2002. № 3. С.180–186.
16. Flexas J., Medrano H. Energy dissipation in C3 plants under drought. *Funct. Plant Biology.* 2002. 29(10). P. 1209–1215.
17. Шматко Ю. Г., Григорюк Ю. А., Шведова О. Е. Стійкість рослин до водного й температурного стресу. Київ: Наук. думка, 1989. 224 с.
18. Орлюк А. П., Усик Л. О. Морфологічні і фізіолого-біохімічні показники посухостійкості *Triticum aestivum* L. *Чорноморський ботанічний журнал.* 2005. Т. 1. № 1. С. 90–98.
19. Шадчина Т.М., Гуляев Б.І., Киризія Д.А. Регуляція фотосинтезу і продуктивності рослин: фізіологічні та екологічні аспекти. Фітосоціоцентр. Київ, 2006. 384 с.
20. Abid M., Haddad M., Ferchichi A. Effect of magnesium sulphate on the first stage of development of Lucerne. *Options Méditerranéennes: Série A.* 2008. Vol. 79. P. 405–408.
21. Moumita, Mahmud J., Biswas P., Nahar K., Fujita M., Hasanuzzaman M. Exogenous application of gibberellic acid mitigates drought-induced damage in spring wheat. *Acta Agrobotanica.* 2019. Vol. 72. No 2. P. 1776.
22. Seleiman M.F., Al-Suhaibani N., Ali N., Akmal M., Alotaibi M., Refay Y., Dindaroglu T., Abdul-Wajid H., Battaglia M. Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. *Plants.* 2021. 10. P. 259.
23. Szabados L., Savoure A. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science.* 2010. Vol. 15. No. 2. P. 89–97.

References

1. Oo, A.T., van Huylenbroeck, G. & Speelman, S. (2020). Measuring the Economic Impact of Climate Change on Crop Production in the Dry Zone of Myanmar: A Ricardian Approach. *Climate*, 8, 9 [in English].
2. Oguz, M., Aycan, M., Oguz, E., Poyraz, I., Yildiz, M. (2022). Drought Stress Tolerance in Plants: Interplay of Molecular, Biochemical and Physiological Responses in Important Development Stages. *Physiologia*, 2 (4), 180–197 [in English].
3. Derevianko, I.O. (2021). Seleksiina tsinnist vykhidnoho materialu yachmeniu yaroho za posukhostiikistiu ta produktyvnistiu v umovakh skhidnoi chastyny lisostepu Ukrainy [Breeding value of spring barley source material for drought resistance and productivity in the conditions of the eastern part of the forest-steppe of Ukraine]. Candidate's thesis. Kharkiv [in Ukrainian].
4. Moskalets, T. & Rybalchenko, V. (2015). Morfo-fiziologichni ta molekuliarno-henetychni oznaky kseromorfnosti *Triticum aestivum* L. [Morpho-physiological and molecular-genetic signs of xeromorphism of *Triticum aestivum* L.]. *Biologichni systemy – Biological systems*, 7, 1 [in Ukrainian].
5. Khomenko, S. (2017). Posukhostiikist ta elementy produktyvnosti kolektsiinykh zrazkiv pshenytsi miakoi yaroi v umovakh Lisostepu Ukrainy [Drought resistance and elements of productivity of collection samples of soft spring wheat in the conditions of the Forest Steppe of Ukraine]. *Myronivskiy visnyk – Myronivsky herald*, 4, 79–87 [in Ukrainian].
6. Kolodka, A.V. & Tverdokhlib, O.V. (2022). Mekhanizm posukhostiikosti u roslin [The mechanism of drought resistance in plants]. V *Mizhnarodna konferentsiia molodykh uchenykh: Kharkivskiy pryrodnychiy forum – V International Conference of Young Scientists: Kharkiv Natural Science Forum.* Kharkiv [in Ukrainian].
7. Ansari, O., Azadi, M., Sharif-Zadeh, F. & Younesi, E. (2013). Effect of Hormone Priming on Germination Characteristics and Enzyme Activity of Mountain Rye (*Secale montanum*) Seeds under Drought Stress Conditions. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, Vol. 9, No 3, P. 61–71 [in English].
8. Kalenska, S.M. (2011). Nasinnieznavstvo ta metody vyvchennia yakosti nasinnia silskohospodarskykh kultur [Seed science and methods of studying the quality of seeds of agricultural crops]. Vinnytsia: FOP Danyliuk [in Ukrainian].
9. Zhuk, O.I. (2011). Formuvannia adaptyvnoi vidpovidy roslin na defitsyt vody [Formation of adaptive response of plants to water deficit.]. *Fiziologhiia i biokhimiia kulturykh roslin – Physiology and biochemistry of cultivated plants*, Vol. 43(1), P. 26–37 [in Ukrainian].
10. Mashevska, A.S. & Yermeichuk, T.M. (Eds.). (2015). *Fiziologhiia ta biokhimiia roslin* [Physiology and biochemistry of plants]. Lutsk: Vezha-Druk [in Ukrainian].

11. Pykalo, S. (2020). Methods for evaluation of wheat breeding material for drought tolerance, Series Biology. Issue 82, P. 63–79 [in English].
12. Khayatnezhad, M. & Gholamin, R. (2012). The effect of drought stress on leaf chlorophyll content and stress resistance in maize cultivars (*Zea mays*). *African Journal of Microbiology Research*, 6 (12), 2844–2848 [in English].
13. Shin, Y.K., Bhandari, S.R., Jo J.S., Song, J.W. & Lee, J.G. (2021). Effect of Drought Stress on Chlorophyll Fluorescence Parameters, Phytochemical Contents, and Antioxidant Activities in Lettuce Seedlings. *Horticulturae*, 7, 238 [in English].
14. Zaefyzadeh, M., Quliyev, R.A., Babayeva, S.M. & Abbasov, M.A. (2009) The Effect of the Interaction between Genotypes and Drought Stress on the Superoxide Dismutase and Chlorophyll Content in Durum Wheat Landraces. *Turk J Biol.*, 33, P. 1–7 [in English].
15. Morhun, V.V., Hryhoriuk, I.P. & Nyzhnyk, T.P. (2002). Pihmentnyi fond khloroplastiv v lystkakh sortiv za umov posukhy ta obrobky polistymulinom K [Pigment fund of chloroplasts in the leaves of cultivars under conditions of drought and treatment with polystimulin K]. *Naukovi zapysky Ternopil. ped. un-tu – Scientific notes Ternopil. ped. university*, 3, 180–186 [in Ukrainian].
16. Flexas, J. & Medrano, H. (2002). Energy dissipation in C3 plants under drought. *Funct. Plant Biology*, 29 (10), 1209–1215 [in English].
17. Shmatko, Yu.H., Hryhoriuk, Yu.A. & Shvedova, O.E. (1989). *Stiikist roslyn do vodnoho y temperaturnoho stresu* [Resistance of plants to water and temperature stress]. Kyiv: Nauk. dumka [in Ukrainian].
18. Oriuk, A.P. & Usyk, L.O. (2005). Morfolohichni i fiziolohe-biokhimichni pokaznyky posukhostiikosti *Triticum aestivum* L. [Morphological and physiological and biochemical indicators of drought resistance of *Triticum aestivum* L.]. *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal – Black Sea Botanical Journal*, Vol. 1, 1, 90–98 [in Ukrainian].
19. Shadchyna, T.M., Hulciaiev, B.I. & Kyryzii, D.A. (2006). *Rehuliatyia fotosyntezy i produktyvnosti roslyn: fiziolohechni ta ekolohechni aspekty* [Regulation of photosynthesis and plant productivity: physiological and ecological aspects]. Kyiv: Fitosotsiotsentr [in Ukrainian].
20. Abid, M., Haddad, M. & Ferchichi, A. (2008). Effect of magnesium sulphate on the first stage of development of Lucerne. *Options Méditerranéennes: Série A*, 79, 405–408 [in English].
21. Moumita, Mahmud, J., Biswas, P., Nahar, K., Fujita M. & Hasanuzzaman, M. (2019). Exogenous application of gibberellic acid mitigates drought-induced damage in spring wheat. *Acta Agrobotanica*, 72, 2, 1776 [in English].
22. Seleiman, M.F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H. & Battaglia, M. (2021). Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. *Plants*, 10, 259 [in English].
23. Szabados, L., Savoure, A. (2010). Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, 15, 2, 89–97 [in English].

Palivoda Y.

fuel supplier graduate student
Mykola Gogol Nizhyn State University
yulia.palivoda@gmail.com
orcid.org/0000-0001-6544-3441

Haviy V.

candidate of biological sciences, associate professor,
Associate Professor of the Department of Biology
Mykola Gogol Nizhyn State University
gaviy@gmail.com
orcid.org/0000-0002-2804-0456

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL FEATURES OF THE FORMATION OF THE ADAPTIVE RESPONSE OF PLANTS IN CONDITIONS OF WATER DEFICIT

Unfavorable environmental conditions negatively affect the physiological processes of growth and development of agricultural plants and lead to a decrease in productivity. One of the most acute among all natural factors is water shortage caused by drought.

During ontogeny, plants are constantly faced with drought. During a drought, as a result of a sharp decrease in relative humidity and an increase in temperature, plants overheat and lose water. They have a water deficit. As a result, growth stops, productivity decreases, and sometimes the plant dies. In response to water scarcity, plants develop various complex mechanisms of resistance and adaptation, i.e. the ability to withstand significant dehydration and overheating, while maintaining normal growth, development and reproductive capacity.

The water potential of plants is maintained at a high level due to xeromorphic characteristics: well-formed root systems, a decrease in the number of leaves on the plant, a decrease in the size of the leaves, and a decrease in stomatal transpiration.

Osmotic regulation is recognized as an important mechanism of drought resistance of agricultural crops, which is implemented by reducing the osmotic potential due to the accumulation of organic and inorganic osmolytes (proline, alanine, valine, etc.) in response to water deficit.

Questions regarding the study of drought resistance of grain crops are relevant, as they are focused on the study of plant reactions to water stress and the implementation of methods to increase plant resistance to drought.

Key words: drought, drought resistance, water deficit, osmotic potential, pigment system of plants.

Стаття надійшла до редакції 18.04.2023 року

Рецензія надійшла 05.05.2023 року