https://doi.org/10.15407/frg2020.01.074

УДК 577.175.1:581.032.3:580.582.542.11:581.4

ВПЛИВ ПРАЙМУВАННЯ АБСЦИЗОВОЮ КИСЛОТОЮ НА РІСТ І ПІСЛЯСТРЕСОВЕ ВІДНОВЛЕННЯ ПШЕНИЦІ І СПЕЛЬТИ ЗА ДІЇ МОДЕЛЬОВАНОЇ ПОМІРНОЇ ҐРУНТОВОЇ ПОСУХИ

І.В. КОСАКІВСЬКА, В.А. ВАСЮК, Л.В. ВОЙТЕНКО

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного Національної академії наук України
01601 Київ, вул. Терещенківська, 2
e-mail: irynakosakivska@gmail.com

У лабораторних умовах досліджено вплив помірної ґрунтової посухи на ростові характеристики двох споріднених видів пшениць *Triticum aestivum* L. сорту Подолянка та *T. spelta* L. сорту Франкенкорн, зернівки яких були праймовані 10^{-6} М розчином абсцизової кислоти (АБК). Ґрунтову посуху створювали припиненням поливу 14-добових рослин упродовж чотирьох наступних діб до моменту зав'янення листків і зниження вологоємності субстрату вдвічі (до 30 % ПВ). У фазу 2—3 листків (на 18-ту добу) полив відновлювали, рослини росли за нормальних умов до 21-ї доби (фаза 3—4 листків). Доведено, що праймування зернівок розчином АБК стимулювало розвиток кореневої системи в контрольних умовах в обох видів пшениць, причому маса коренів спельти була значно більшою. За дії модельованої ґрунтової посухи ріст 18-добових рослин значно гальмувався. Маси кореневих систем праймованих АБК рослин озимої пшениці і спельти за дії ґрунтової посухи зменшились відповідно на 18,3 і 29,6 %, тоді як у непраймованих рослин відчутні зміни зафіксовано тільки у спельти. Після праймування зернівок розчином АБК за помірної ґрунтової посухи маса пагонів озимої пшениці практично не змінилася, тоді як у спельти зменшилась на 13 %. Водночас порівняно з непраймованими рослинами втрати маси пагонів були меншими, що пояснюється збереженням обводненості. Після відновлення поливу на 21-шу добу за морфометричними показниками перевагу мали рослини, зернівки яких були праймовані розчином АБК. У рослин озимої пшениці збільшились висота і маса пагонів, розгалузилась коренева система, маса якої зросла в 1,75 раза. У рослин спельти морфометричні показники повністю не відновились, хоча пагони і корені праймованих рослин переважали за довжиною і масою. Отримані результати підтвердили, що праймування зернівок розчином АБК стимулює розвиток кореневої системи і підвищує стійкість до помірної ґрунтової посухи рослин озимої пшениці і спельти. Були витривалішими й ліпше відновлювались рослини *T. aestivum* сорту Подолянка. Обговорено можливість праймування зернівок екзогенною АБК з метою підвищення стресостійкості злаків.

Ключові слова: Triticum aestivum L.*, Triticum spelta* L.*,* абсцизова кислота, ґрунтова посуха, ріст, стійкість.

Однією з найпоширеніших форм абіотичного стресу, яка негативно впливає на життєздатність і продуктивність рослин, є ґрунтова посу-

© І.В. КОСАКІВСЬКА, В.А. ВАСЮК, Л.В. ВОЙТЕНКО, 2020

ха. Основою ґрунтової посухи як фізичного явища є осмотичний стрес, який виражається у зниженні водного потенціалу середовища по відношенню до водного потенціалу рослини. Через це фізіологічні вияви посухи часто порівнюють із такими формами абіотичного стресу, як сольовий і температурний [14]. За ґрунтової посухи пригнічується ріст, знижуються тургор листків, інтенсивність водного обміну, фотосинтетична активність, уповільнюється метаболізм. Для подолання стресового впливу рослини використовують певні адаптивні стратегії, які включають морфологічні, фізіологічні й біохімічні відповіді, що визначають успішність росту і продуктивність [2]. Багатостадійний процес формування відповіді на посуху охоплює всі системи рослинного організму і спрямований на ослаблення наслідків водного дефіциту. Фітогормон абсцизова кислота належить до ефективних регуляторів стресових реакцій у широкого спектра видів різних таксонів [1, 15]. У покритонасінних детально досліджено вплив цього гормону на продихову провідність [7] і ріст кореневої системи за водного дефіциту [10]. Встановлено, що в клітинах мезофілу листків за посухи акумулюється значна кількість АБК [11].

Пшениця належить до головних зернових культур в Україні та світі. Вона є об'єктом селекційних досліджень, спрямованих на добір і створення нових генотипів. Голозерна м'яка пшениця *Triticum aestivum* та плівчаста пшениця *Triticum spelta* характеризуються гомологічним геномним складом і належать до гексаплоїдних пшениць [6]. У попередніх роботах ми визначили морфофенологічні ознаки в реакції рослин *T. aestivum* і *T. spelta* на помірну ґрунтову посуху й показали, що витривалішими є пагони спельти, тоді як у рослин озимої пшениці стійкішими були корені [3]. Ми також установили, що за інкубації на розчинах АБК проростки озимої пшениці активно накопичували біомасу, а концентрація гормону 10^{-6} М була визначена як фізіологічна [4]. Праймування зернівок розчином АБК підвищувало стійкість до високої температури 3- і 14-добових рослин озимої пшениці і спельти, при цьому витривалішими виявились рослини спельти [5].

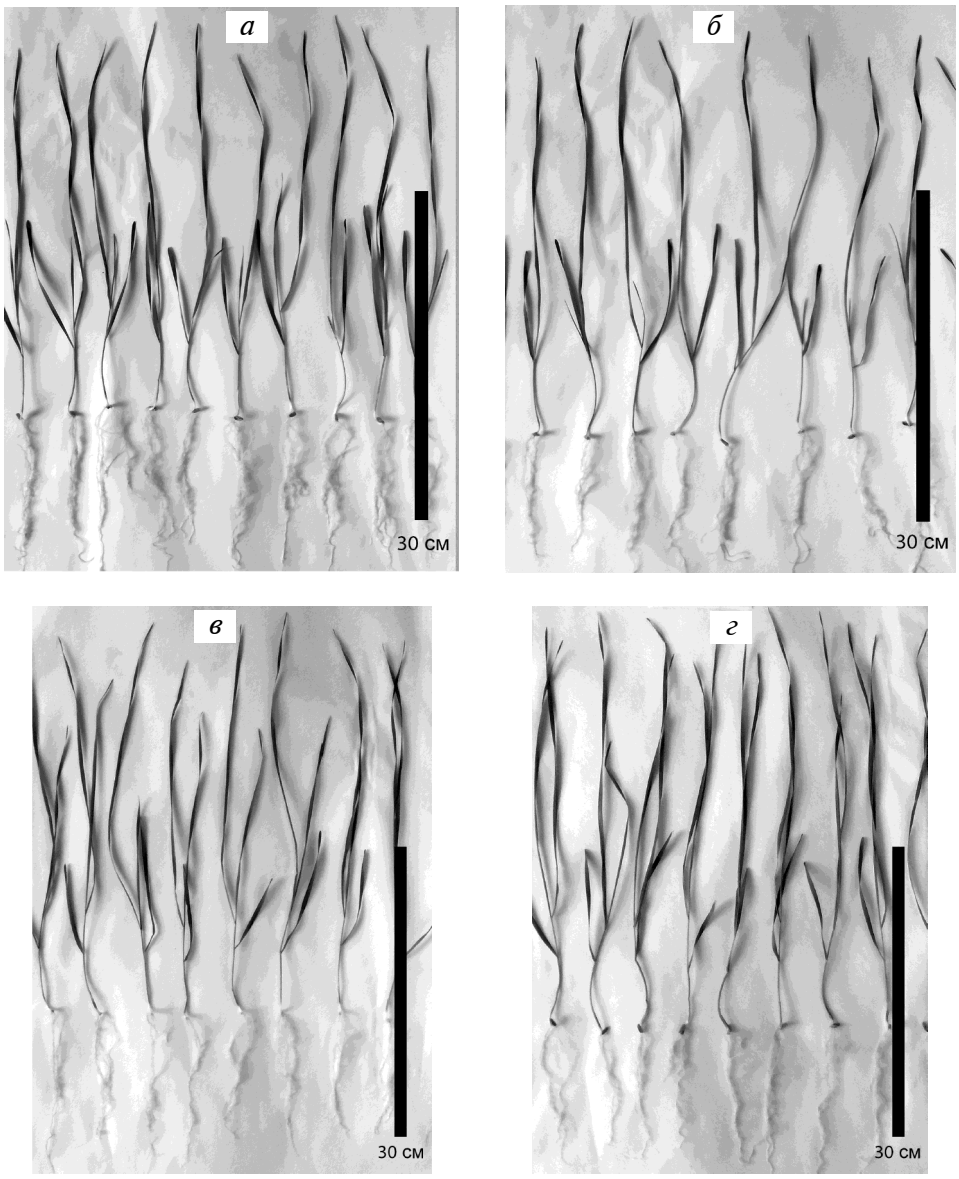
Метою цієї роботи було дослідження впливу праймування зернівок розчином АБК на ріст і післястресове відновлення двох споріднених видів пшениць за умов модельованої помірної ґрунтової посухи.

Методика

Досліджували рослини голозерної м'якої пшениці *T. aestivum* та її ймовірного дикого попередника — плівчастої пшениці *T. spelta*. Зернівки озимої пшениці сорту Подолянка отримано з колекції Інституту фізіології рослин і генетики НАН України, зернівки спельти сорту Франкенкорн — з колекції Національного центру генетичних ресурсів рослин України (м. Харків).

Відкалібровані зернівки стерилізували у 80 %-му розчині етанолу, відмивали дистильованою водою, вміщували на 3 год у кювети з водою, після чого пророщували на воді та розчині АБК (10^{-6} М) у термостаті за температури +24 °С впродовж 21 год. Зернівки, що на-

клюнулись, висаджували в посудини місткістю 2 л. Як субстрат використовували прожарений річковий пісок. Рослини вирощували у контрольованих умовах за температури +20/17 °С (день/ніч), інтенсивності освітлення 690 мкмоль/(м^2 · с), фотоперіоду 16/8 год (день/ніч), відносної вологості повітря 65±5 %, вологість субстрату підтримували на рівні 60 % повної вологоємності. Поливали їх щоденно розчином Кнопа із розрахунку по 50 мл на посудину. Ґрунтову посуху створювали припиненням поливу 14-добових рослин упродовж чотирьох наступних діб до моменту зав'янення листків і зниження вологоємності субстрату вдвічі. У фазу 2—3 листків (на 18-ту добу) полив відновлювали, рослини росли в нормальних умовах до 21-ї доби (фаза 3—4 листків) (рисунок).



Рослини *Triticum spelta* L. на 18-ту (*а* — контроль; *б* — після дії модельованої ґрунтової посухи) і 21-шу добу (*в* — контроль; *г* — в період відновлення)

Визначали висоту пагонів і довжину найбільш розвиненого кореня, маси їх сирої речовини та вологість. Вимірювання проводили після ґрунтової посухи та в період повного відновлення рослин. Досліди виконували у трьох біологічних і трьох аналітичних повтореннях. Для кожного біологічного повторення відбирали по 40 рослин. Результати оброблено статистично за допомогою пакета програм Microsoft Excel. Визначали середньоарифметичні і стандартні відхилення. Достовірність різниці між варіантами досліду оцінювали з використанням *t*-тесту Стьюдента, статистично достовірною вважали різницю за $p \leq 0{,}05$.

Результати та обговорення

Помірна ґрунтова посуха пригнічувала ріст пагонів і коренів досліджуваних рослин. Так, на четверту добу після припинення поливу висота пагонів контрольних рослин озимої пшениці сорту Подолянка зменшилась на 6,5 %, а вирощених із праймованих розчином АБК зернівок — на 3,6 % (табл. 1). Водночас маса пагонів контрольних рослин зменшилась на 25,9 %, а праймованих — лише на 2 %. У непраймованих рослин вологість зменшилась на 7,4 %, у праймованих — залишилась на рівні контролю. Припинення поливу призвело до зменшення довжини й особливо маси коренів контрольних і праймованих рослин. Проте маса коренів рослин, вирощених із праймованих розчином АБК зернівок, на 18-ту добу істотно перевищувала масу коренів непраймованих рослин як у контролі, так і після дії помірної ґрунтової посухи. У непраймованих рослин зафіксовано зменшення вологості, у праймованих — невелике зростання.

У період відновлення на 21-шу добу ростові показники непраймованих рослин пшениці були значно меншими, ніж контрольні (табл. 2). Водночас у праймованих рослин висота пагонів збільшилась на 19 % порівняно з непраймованими рослинами, підвищилась також їх вологість, вони мали товстіше стебло яскраво-зеленого кольору. Праймування зернівок АБК стимулювало накопичення мас пагонів і коренів озимої пшениці. Довжина коренів у період відновлення у праймованих і непраймованих рослин зменшилась. Маса ж

ТАБЛИЦЯ 1. Ростові показники 18-добових рослин Triticum aestivum сорту Подолянка після дії модельованої ґрунтової посухи

Частина рослини і ростові показники	Вода, контроль	Вода, ґрунтова посуха	Розчин АБК, контроль	Розчин АБК, ґрунтова посуха
Пагони				
висота, см	33,6±1,7	31,4±1,6	30,4±1,5	29,3±1,5
маса, мг	223,7±11,2	166,0±8,3	180,1±9,0	176,6±8,8
вологість, %	84,7±4,2	78,4±3,9	82,0±4,1	79,8±4,0
Корені				
довжина, см	12,2±0,6	11,4±0,6	14,5±0,7	13,3±0,6
маса, мг	51,5±2,6	48,6±2,4	72,7±3,6	59,4±3,0
вологість, %	80,8±4,0	77,7±3,9	78,9±3,9	80,6±4,0

ТАБЛИЦЯ 2. Ростові показники 21-добових рослин Triticum aestivum сорту Подолянка у період відновлення після дії модельованої ґрунтової посухи

Частина рослини і ростові показники	Вода, контроль	Вода, ґрунтова посуха	Розчин АБК, контроль	Розчин АБК, ґрунтова посуха
Пагони				
висота, см	44,0±2,2	31,5±1,6	43,4±2,2	40,5±2,0
маса, мг	323,5±16,2	210,3±10,5	316,4±15,8	328,6±16,4
вологість, %	84,3±4,2	83,8±4,2	85,1±4,3	86,4±4,3
Корені				
довжина, см	16,6±0,8	12,1±0,6	16,3±0,8	12,6±0,6
маса, мг	88,7±4,9	81,0±4,3	75,0±3,8	131,3±6,6
вологість, %	85,2±4,3	84,6±4,2	84,7±4,2	85,7±4,3

ТАБЛИЦЯ 3. Ростові показники 18-добових рослин Triticum spelta сорту Франкенкорн після дії модельованої ґрунтової посухи

Частина рослини і ростові показники	Вода, контроль	Вода, ґрунтова посуха	Розчин АБК, контроль	Розчин АБК, ґрунтова посуха
Пагони				
висота, см	34,5±1,7	30,3±1,5	33,2±1,7	27,1±1,4
маса, мг	204,7±10,2	150,9±7,5	201,7±10,2	175,1±8,8
вологість, %	86,2±4,3	83,2±4,2	86,4±4, 3	86,1±4,3
Корені				
довжина, см	14,2±0,7	12,5±0,6	14,7±0,7	13,0±0,7
маса, мг	139,9±7,0	109,5±5,5	158,1±7,9	111,3±5,6
вологість, %	80,1±4,0	83,8±4,2	78,4±3,9	81,7±4,1

коренів праймованих рослин, які були коротшими й більш розгалуженими, навпаки, зросла в 1,75 раза. Після відновлення поливу також підвищились показники вологості коренів.

На четверту добу після припинення поливу ростові показники рослин спельти сорту Франкенкорн змінились. Так, висота пагонів контрольних рослин зменшилась на 12 %, а вирощених із праймованих розчином АБК зернівок — на 18 % (табл. 3). Водночас маса пагонів контрольних рослин зменшилась на 26 %, а праймованих — на 13 %. Припинення поливу призвело до зменшення довжини коренів як контрольних, так і праймованих рослин. Маса коренів рослин спельти, вирощених з праймованих розчином АБК зернівок, на 18-ту добу в контролі перевищувала масу коренів непраймованих рослин на 13 %. Після дії посухи маси коренів в обох варіантах досліду істотно зменшились, при цьому чутливішими виявились корені праймованих рослин. Праймування розчином АБК сприяло збереженню вологості пагонів, а вологість коренів мала тенденцію до збільшення у рослин обох варіантів.

Після поновлення поливу морфометричні показники рослин, що зазнали впливу посухи, повністю не відновились. Водночас пагони і

ТАБЛИЦЯ 4. Ростові показники 21-добових рослин Triticum spelta сорту Франкенкорн у період відновлення після дії модельованої ґрунтової посухи

Частина рослини і ростові показники	Вода, контроль	Вода, ґрунтова посуха	Розчин АБК, контроль	Розчин АБК, ґрунтова посуха
Пагони				
висота, см	44,0±2,2	31,6±1,5	44,1±2,2	37,5±1,9
маса, мг	231,7±11,6	184,8±9,2	238,6±11,9	207,4±10,4
вологість, %	86,7±4,3	83,9±4,2	85,6±4,3	85,3±4,3
Корені				
довжина, см	15,4±0,8	12,9±0,6	14,9±0,8	13,3±0,7
маса, мг	146,4±7,3	124,3±6,2	163,2±8,2	149,5±7,5
вологість, %	84,8±4,2	84,4±4,2	78,2±3,9	84,0±4,2

корені праймованих рослин переважали за довжиною і масою. Праймування зернівок спельти розчином АБК забезпечило збільшення вологості коренів (табл. 4).

Праймування насіння фітогормонами є важливим засобом для мінімізації втрат врожаїв аграрних культур за несприятливих зовнішніх чинників [12]. Відомо, що АБК-сигнальний шлях виконує ключову роль у формуванні реакцій рослин на абіотичні стреси [16].

Посухостійкість визначається станом продихового апарату, а своєчасне закриття продихів забезпечує збереження водного потенціалу і життєдіяльність рослин за посухи [9]. Встановлено, що за посухи та екзогенної обробки насіння АБК у проростках кукурудзи зростав вміст H_2O_2, інтенсифікувався синтез ZmRD22A і ZmRD22B протеїнів із родини RD22, що беруть участь у формуванні реакції-відповіді на посуху [13]. Фоліарна обробка екзогенною АБК гібридів соняшнику під час розпускання бутонів і цвітіння зменшувала негативні наслідки посухи і підвищувала врожайність [8].

Ми виявили неспецифічні й специфічні риси в реакції рослин *T. aestivum* і *T. spelta* на модельовану помірну посуху. У споріднених видів пшениць гальмувався ріст пагонів і коренів, причому чутливішими виявились корені спельти. Праймування зернівок розчином АБК стимулювало розвиток кореневих систем в обох видів пшениць. Маса коренів спельти була значно більшою. Маси кореневих систем праймованих рослин озимої пшениці і спельти за дії ґрунтової посухи зменшились відповідно на 18,3 і 29,6 %, тоді як у непраймованих рослин відчутні зміни відбулися лише у спельти. У праймованих рослин озимої пшениці за помірної ґрунтової посухи маса пагонів практично не змінилась, а у спельти зменшилась на 13 %. Водночас порівняно з непраймованими рослинами втрати мас пагонів були меншими, що пояснюється збереженням обводненості. Після відновлення поливу за морфометричними показниками значно переважали рослини, зернівки яких були праймовані розчином АБК. Отримані результати підтвердили, що праймування розчином АБК стимулює розвиток кореневої системи і підвищує стійкість до помірної ґрунтової посухи рослин озимої пшениці і спельти. Були витривалішими й ліпше відновлювались рослини *T. aestivum* сорту Подолянка.

Публікація містить результати досліджень, проведених у рамках проекту, що фінансується Національною академією наук України № III-82-17.463 «Гормональна регуляція росту і розвитку злакових рослин за дії негативних кліматичних факторів» (2019—2023 рр.).

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Войтенко Л.В., Косаківська І.В. Поліфункціональний фітогормон абсцизова кислота. *Вісник Харків. нац. аграр. ун-ту*. 2016. **1**, № 37. С. 27—41.
2. Косаківська І.В. Екологічний напрямок у фізіології рослин: досягнення і перспективи. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2007. **39**, № 4. С. 279—290.
3. Косаківська І.В., Васюк В.А., Войтенко Л.В. Вплив модельованої грунтової посухи на ростові характеристики споріднених видів пшениць *Triticum aestivum* L. та *Triticum spelta* L. *Физиология растений и генетика*. 2018. **50**, № 3. С. 241—252. https://doi.org/10.15407/frg2018.03.241
4. Косаківська І.В., Васюк В.А., Войтенко Л.В. Вплив екзогенної абсцизової кислоти на проростання зернівок і морфометричні показники проростків споріднених видів пшениць *Triticum aestivum* L. та *Triticum spelta* L. *Физиология растений и генетика*. 2019. **51**, № 1. С. 55—66. https://doi.org/10.15407/frg2019.03.187
5. Косаківська І.В., Васюк В.А., Войтенко Л.В. Вплив екзогенної абсцизової кислоти на морфометричні показники ростових процесів озимої пшениці та спельти за дії гіпертермії. *Физиология растений и генетика*. 2019. **51**, № 4. С. 324—337. https://doi.org/10.15407/frg2019.04.324
6. Babenko L.M., Hospodarenko H.M., Rozhkov R.V., Pariy Ya.F., Pariy M.F., Babenko A.V., Kosakivska I.V. *Triticum spelta* L.: origin, biological characteristics and perspectives of use in breeding and agriculture. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2018. **8**, N 2. P. 250—257. https://doi.org/10.15421/021837
7. Geiger D., Maierhofer T., Al-Rasheid K.A., Scherzer S., Mumm P., Liese A., Ache P., Wellmann C., Marten I., Grill E., Romeis T., Hedrich R. Stomatal closure by fast abscisic acid signaling is mediated by the guard cell anion channel SLAH3 and the receptor RCAR1. *Sci. Signal*. 2011. **4**, N 173. ra32. https://doi.org/10.1126/scisignal.2001346
8. Hussain S., Saleem M.F., Iqbal J., Ibrahim M., Atta S., Ahmed T., Rehmani M.I.A. Exogenous application of abscisic acid may improve the growth and yield of sunflower hybrids under drought. *Pakistan J. Agr. Sci*. 2014. **51**, N 1. P. 49—58.
9. Martin-St-Paul, N., Delzon S., Cochard H. Plant resistance to drought depends on timely stomatal closure. *Ecology Lett*. 2017. **20**, N 11. P. 1437-1447. https://doi.org/10.1111/ele.12851
10. McAdam S.A., Brodribb T.J., Ross J.J. Shoot-derived abscisic acid promotes root growth. *Plant Cell Environ*. 2016. **39.** P. 652—659. https://doi.org/10.1111/pce.12669
11. McAdam S.A., Brodribb T.J. Mesophyll cells are the main site of abscisic acid biosynthesis in water-stressed leaves. *Plant Physiol*. 2018. **177**. P. 911—917.
12. Muhei S.H. Seed Priming with Phytohormones to Improve Germination Under Dormant and Abiotic Stress Conditions. *Adv. Crop Sci. Tech*. 2018. **6**, N 6. P. 403—406. https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000403
13. Phillips K., Ludidi N. Drought and exogenous abscisic acid alter hydrogen peroxide accumulation and differentially regulate the expression of two maize RD22-like genes. *Sci. Reports*. 2017. **7**, N 8821. P. 1—12. https://doi.org/10.1038/s41598-017-08976-x
14. Shumilina J.S., Kuznetsova A.V., Frolov A.A., Grishina T.V. Drought as a form of abiotic stress and physiological markers of drought stress. *J. Stress Physiol. and Biochem*. 2018. **14**, N 4. P. 5—15.
15. Takezawa D., Komatsu K., Sakata Y. ABA in bryophytes: how a universal growth regulator in life became a plant hormone? *J. Plant Res*. 2011. **124**. P. 437—453.
16. Zhu J.-K. Abiotic Stress Signaling and Responses in Plants. *Cell*. 2016. **167**. P. 313—324. http: // dx.doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.029

Отримано 20.11.2019

REFERENCES

1. Voytenko, L.V. & Kosakivska, I.V. (2016). Polyfunctional phytohormone abscisic acid. Visnyk Kharkiv. national. ahr. un-tu, 1, No. 37, pp. 27-41 [in Ukrainian].
2. Kosakivska, I.V. (2007). Ecological direction in plant physiology: achievements and prospects. Fiziologiya i biokhimiya kult. rastenii, 39, No. 4, pp. 279-290 [in Ukrainian].
3. Kosakivska, I.V., Vasyuk, V.A. & Voytenko, L.V. (2018). Effect of simulated soil drought on growth characteristics of related wheat species Triticum aestivum L. and Triticum spelta L. Fiziologiya i biokhimiya kult. rastenii, 50, No. 3, pp. 241-252 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/frg2018.03.241
4. Kosakivska, I.V., Vasyuk, V.A. & Voytenko, L.V. (2019). Effect of exogenous abscisic acid on seeds germination and morphometric parameters of seedlings of related wheat species Triticum aestivum L. and Triticum spelta L. Fiziol. rast. genet., 51, No. 1, pp. 55-66 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/frg2019.03.187
5. Kosakivska, I.V., Vasyuk, V.A. & Voytenko, L.V. (2019). Effect of exogenous abscisic acid on morphometric characteristics of winter wheat and spelt under hyperthermia. Fiziol. rast. genet., 51, No. 4, pp. 324-337 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/frg2019.04.324
6. Babenko, L.M., Hospodarenko, H.M., Rozhkov, R.V., Pariy, Ya.F., Pariy, M.F., Babenko, A.V. & Kosakivska, I.V. (2018). Triticum spelta L.: origin, biological characteristics and perspectives of use in breeding and agriculture. Regulatory Mechanisms in Biosystems, 8, No. 2, pp. 250-257. https://doi.org/10.15421/021837
7. Geiger, D., Maierhofer, T., Al-Rasheid, K.A., Scherzer, S., Mumm, P., Liese, A., Ache, P., Wellmann, C., Marten, I., Grill, E., Romeis, T. & Hedrich, R. (2011). Stomatal closure by fast abscisic acid signaling is mediated by the guard cell anion channel SLAH3 and the receptor RCAR1. Sci. Signal., 4, No. 173, ra32. https://doi.org/10.1126/scisignal.2001346
8. Hussain, S., Saleem, M.F., Iqbal, J., Ibrahim, M., Atta, S., Ahmed, T. & Rehmani, M.I.A. (2014). Exogenous application of abscisic acid may improve the growth and yield of sunflower hybrids under drought. Pakistan J. Agr. Sci., 51, No. 1, pp. 49-58.
9. Martin-St-Paul, N., Delzon, S. & Cochard, H. (2017). Plant resistance to drought depends on timely stomatal closure. Ecology Lett., 20, No. 11, pp. 1437-1447. https://doi.org/10.1111/ele.12851
10. McAdam, S.A., Brodribb, T.J. & Ross, J.J. (2016). Shoot-derived abscisic acid promotes root growth. Plant Cell Environ., 39, pp. 652-659. https://doi.org/10.1111/pce.12669
11. McAdam, S.A. & Brodribb, T.J. (2018). Mesophyll cells are the main site of abscisic acid biosynthesis in water-stressed leaves. Plant Physiol., 177, pp. 911-917.
12. Muhei, S.H. (2018). Seed Priming with Phytohormones to Improve Germination Under Dormant and Abiotic Stress Conditions. Adv. Crop Sci. Tech., 6, No. 6, pp. 403-406. https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000403
13. Phillips, K. & Ludidi, N. (2017). Drought and exogenous abscisic acid alter hydrogen peroxide accumulation and differentially regulate the expression of two maize RD22-like genes. Sci. Reports, 7, No. 8821, pp. 1-12. https://doi.org/10.1038/s41598-017-08976-x
14. Shumilina, J.S., Kuznetsova, A.V., Frolov, A.A. & Grishina, T.V. (2018). Drought as a form of abiotic stress and physiological markers of drought stress. J. Stress Physiol. and Biochem., 14, No. 4, pp. 5-15.
15. Takezawa, D., Komatsu, K. & Sakata, Y. (2011). ABA in bryophytes: how a universal growth regulator in life became a plant hormone? J. Plant Res., 124, pp. 437-453.
16. Zhu, J.-K. (2016). Abiotic Stress Signaling and Responses in Plants. Cell, 167, pp. 313-324. http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.02

Received 20.11.2019

EFFECT OF PRIMING WITH ABSCISIC ACID ON THE GROWTH AND POST-STRESS REHABILITATION OF THE WHEAT AND SPELT UNDER CONDITIONS OF A SIMULATED MODERATE SOIL DROUGHT

I.V. Kosakivska, V.A. Vasyuk, L.V. Voytenko

M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine
2 Tereshchenkivska St., Kyiv, 01601, Ukraine
e-mail: irynakosakivska@gmail.com

It was analyzed the effect of moderate soil drought on the growth of two related wheat species *Triticum aestivum* L. variety Podolyanka and *T. spelta* L. variety Frankenkorn, the grains of which were primed with 10^{-6} M solution of abscisic acid (ABA). Soil drought was achieved by stopping watering of 14-day-old plants for the next 4 days until the leaves wilting and reaching a half reduction in the moisture capacity of the substrate (30 % FC). At the stage of 2—3 leaves (18th day), watering was restored, plants were grown under normal conditions until the 21st day (stage of 3—4 leaves). Priming with ABA solution stimulated the roots development of two studied species under control conditions; however, the mass of spelt roots was significantly higher. Under moderate soil drought, the growth of 18-day-old plants slowed down. The mass of the primed with ABA solution winter wheat and spelt roots decreased, respectively, by 18.3 and 29.6 %, while significant changes were recorded only in unprimed spelt roots. After priming with ABA solution under moderate soil drought, the mass of winter wheat shoots remained almost unchanged, while in spelt it decreased by 13 %. At the same time, compared with unprimed plants, the decrease in shoot mass was less, due to the retention of moisture. After watering resumption, on the 21st day the morphometric indices of plants primed with ABA solution were significantly higher than unprimed ones. The height and mass of winter wheat shoots increased, the root system branched, and the mass of it grew 1.75 times. In spelt, full restoration of morphometric indices did not occur, although the length and mass indices of shoots and roots of primed plants were higher than unprimed ones. The results showed that priming with ABA solution stimulates the root system development and increases resistance to moderate soil drought of winter wheat and spelt. *T. aestivum* variety Podolyanka was more stress-resistant and recovered better. The possibility of exogenous ABA using to increase the drought resistance of cereals is discussed.

Key words: Triticum aestivum L., *Triticum spelta* L., abscisic acid, soil drought, growth, resistance.

ВЛИЯНИЕ ПРАЙМИРОВАНИЯ АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТОЙ НА РОСТ И ПОСЛЕСТРЕССОВОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПШЕНИЦЫ И СПЕЛЬТЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ МОДЕЛИРОВАННОЙ УМЕРЕННОЙ ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХИ

И.В. Косаковская, В.А. Васюк, Л.В. Войтенко

Институт ботаники им. Н.Г. Холодного Национальной академии наук Украины, Киев
e-mail: irynakosakivska@gmail.com

В лабораторных условиях исследовано влияние умеренной почвенной засухи на ростовые характеристики двух родственных видов пшениц *Triticum aestivum* L. сорта Подолянка и *T. spelta* L. сорта Франкенкорн, зерновки которых были праймированы 10^{-6} М раствором абсцизовой кислоты (АБК). Почвенную засуху создавали прекращением полива 14-суточных растений в течение четырех последующих суток до момента увядания листьев и снижения влагоемкости субстрата в два раза (до 30 % ПВ). В фазу 2—3 листьев (на 18-е сутки) полив возобновляли, растения росли в нормальных условиях до 21-х суток (фаза 3—4 листьев). Доказано, что праймирование рас-

твором АБК стимулировало развитие корневой системы в контрольных условиях обоих видов пшениц, причем масса корней спельты была значительно больше. В условиях почвенной засухи рост 18-суточных растений значительно замедлялся. Массы корневых систем праймированных АБК растений озимой пшеницы и спельты при действии почвенной засухи уменьшились, соответственно на 18,3 и 29,6 %, тогда как у непраймированных растений ощутимые изменения зафиксированы только у спельты. После праймирования зерновок раствором АБК при умеренной почвенной засухе масса побегов озимой пшеницы практически не изменилась, тогда как у спельты уменьшилась на 13 %. В то же время по сравнению с непраймированными растениями потери массы побегов были меньше, что объяснено сохранением обводненности. После восстановления полива на 21-е сутки по морфометрическим показателям преимущество имели растения, зерновки которых были праймированы раствором АБК. У растений озимой пшеницы увеличились высота и масса побегов, разветвилась корневая система, масса которой выросла в 1,75 раза. У растений спельты морфометрические показатели полностью не восстановились, хотя побеги и корни праймированных растений имели большие длину и массу. Полученные результаты подтвердили, что праймирование зерновок раствором АБК стимулирует развитие корневой системы и повышает устойчивость к умеренной почвенной засухе растений озимой пшеницы и спельты. Были более выносливыми и лучше восстанавливались растения *T. aestivum* сорта Подолянка. Обсуждена возможность праймирования зерновок экзогенной АБК с целью повышения стрессоустойчивости злаков.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., *Triticum spelta* L., абсцизовая кислота, почвенная засуха, рост, устойчивость.