

УДК 581.032.3:580.582.542.11:581.4

## ВПЛИВ МОДЕЛЬОВАНОЇ ҐРУНТОВОЇ ПОСУХИ НА РОСТОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВОХ СПОРІДНЕНИХ ВИДІВ ПШЕНИЦЬ *TRITICUM AESTIVUM* L. І *TRITICUM SPELTA* L.

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 проаналізовано вплив модельованої ґрунтової посухи на ростові показники рослин *Triticum aestivum* L. сорту Подолянка та *Triticum spelta* L. сорту Франкенкорн. Встановлено, що помірна ґрунтова посуха (протягом чотирьох діб) негативно вплинула на ріст і накопичення маси сирої речовини в надземній частині й коренях обох досліджуваних видів. У 18-добових рослин *T. aestivum* довжина і маса надземної частини зменшились відповідно на 19 і 21 %, коренів — на 11 і 34 %. Після відновлення поливу на 23-тю добу довжини надземної частини й коренів були меншими за контрольні показники, а маса коренів майже вдвічі більшою порівняно з післястресовими рослинами, проте залишилася на 20 % меншою від контрольної. Ростові показники надземної частини 18-добових рослин *T. spelta* після помірної ґрунтової посухи зазнали незначних змін, тоді як довжина й маса коренів зменшилися відповідно на 19 і 48 %. У період реабілітації відмінність між біометричними показниками контролю й досліду була менш виразною, проте повністю не зникла. Посуха призвела до збільшення вмісту сухої речовини у пагонах 18-добових рослин *T. aestivum* і зменшення вмісту сухої речовини в кореневій системі *T. spelta*. Зміна ростових показників та характер накопичення маси сухої речовини були специфічними у реакціях на помірну ґрунтову посуху в досліджуваних видів. У рослин *T. spelta* витривалішою виявилась надземна частина, у *T. aestivum* — корені.

**Ключові слова:** *Triticum aestivum* L., *Triticum spelta* L., ґрунтова посуха, ріст, стресостійкість.

Ґрунтова посуха — один із головних чинників, що лімітує продуктивність сільськогосподарських культур. Недостатнє водозабезпечення гальмує фізіолого-біохімічні процеси, ріст і розвиток рослин. Вивчення механізмів забезпечення посухостійкості рослин привертає особливу увагу дослідників [8, 14, 22]. Збереження обводнення тканин досягається як унаслідок обмеження втрат води (транспірації), так і через здатність рослин активізувати поглинання води кореневою системою. Так устанавлюється баланс між поглинанням і втратою води рослиною [18, 30]. Збереження обводнення тканин і відповідно висока продуктивність за умови помірної ґрунтової посухи корелює зі зростанням швидкості транспірації й росту надземної частини, що забезпечується посиленням поглинанням води кореневою системою

[33]. В праці Гевіна [17], опублікованій в журналі «Nature» 2010 р. йшлося про «зелену революцію» під землею, спрямовану на поліпшення характеристик саме кореневої системи.

Завдяки харчовим і кормовим властивостям пшениця посідає чільне місце серед зернових культур в Україні й світі. Вона є об'єктом селекційних програм, спрямованих на добір і створення нових генотипів. Голозерна м'яка пшениця *Triticum aestivum* та плівчата пшениця *Triticum spelta* характеризуються гомологічним геномним складом і належать до гексаплоїдних пшениць [2, 10]. Як окремих біологічних видів спельта з'явилась на Близькому Сході в регіоні так званого Родючого Півмісяця без втручання людини між 6000 і 5000 рр. до н.е. внаслідок спонтанної зміни в геномі *Aegilops squarrosa* [2, 28]. Завдяки високій харчовій цінності зерна, адаптованості до органічного землеробства, стійкості до несприятливих кліматичних чинників [3, 4, 15, 16] спельта визнана й поширена на ринку зернових культур [12].

Дослідження з екологічної фізіології рослин, спрямовані на вивчення характеру й ролі пристосувальних змін у перебігу ключових фізіологічних процесів за умови негативних і незвичних екологічних чинників, відіграють важливу роль при виявленні донорів господарсько-цінних ознак, скринінгу вихідного селекційного та інтродукційного матеріалу, розробці систем адаптивного землеробства [5, 7]. У попередніх дослідженнях ми проаналізували динаміку ростових процесів і структурно-функціональні характеристики нових генотипів озимої пшениці української селекції Ятрань 60 та Володарка за температурних стресів [20, 21]. У рослин *T. spelta* досліджено структуру продуктивності й хлібопекарські якості зерна [9, 11, 16].

Метою цієї роботи було порівняльне вивчення морфолого-біологічних ознак двох споріднених видів роду *Triticum* — озимої пшениці та спельти за дії помірної ґрунтової посухи й у наступний період відновлення.

## Методика

Досліджували рослини голозерної озимої пшениці *T. aestivum* L. сорту Подолянка і плівчатої пшениці *T. spelta* L. сорту Франкенкорн. Сорт Подолянка зареєстрований 2003 р., його оригінаторами є Інститут фізіології рослин і генетики НАН України й Миронівський інститут пшениці ім. В.М. Ремесла НААН України. Сорт належить до групи сильних сортів безостих пшениць, різновид — лютесценс, високоврожайний, інтенсивного типу; надзвичайно стійкий до вилягання, морозостійкий, має високу посухостійкість, толерантний до ураження борошнистою росою, фузаріозом, іржею [10]. Насіння пшениці отримано з колекції Інституту фізіології рослин і генетики НАН України. Сорт спельти Франкенкорн створений у 1990-х роках на основі старих сортів спельти зворотним схрещуванням. Середньорослий, стійкий до вилягання, морозостійкий, екологічно пластичний, вважається генетично найчистішим сортом *T. spelta* [28]. Насіння спельти отримано з колекції Національного центру генетичних ресурсів рослин України (м. Харків).

Відкаліброване насіння стерилізували у 80 %-му розчині етанолу, відмивали дистильованою водою і замочували на 3 год. Далі насіння пророщували в термостаті у кюветах на змоченому водою фільтрувальному папері за температури +24 °С впродовж 21 год. Насіння, яке наклюнулось, висаджували у посудини місткістю 2 л. Субстратом слугував прожарений річковий пісок. Рослини вирощували у контрольованих умовах за температури +20/17 °С (день/ніч), інтенсивності освітлення 690 мкмоль/(м<sup>2</sup> · с), фотоперіоду 16/8 год (день/ніч), відносної вологості повітря 65±5 %, вологість субстрату підтримували на рівні 60 % повної вологості. Поливали проростки щоденно розчином Кнопа з розрахунку 50 мл на посудину. Грунтову посуху створювали припиненням поливу 14-добових рослин упродовж чотирьох діб до моменту в'янення листків і зниження вологості субстрату вдвічі. У фазу 2—3 листків (на 18-ту добу) полив відновлювали, ріст рослин відбувався в нормальних умовах до 23-ї доби (2—4 листки).

Ріст рослин оцінювали за морфометричними показниками надземної частини й коренів, які визначали після ґрунтової посухи та в період повного відновлення рослин.

Досліди проводили у двох біологічних і трьох аналітичних повтореннях. Для кожного біологічного повторення відбирали по 40 рослин. Результати оброблено статистично за допомогою *t*-тесту Стьюдента, статистично вірогідною вважали різницю за  $p \leq 0,05$ .

### Результати та обговорення

Адаптаційну здатність озимої пшениці та спельти визначали за ключовими фенотипними ознаками метаболічних процесів — динамікою ростових показників, накопиченням біомаси вегетативними органами й коренями рослин. Довжина і маса надземної частини й маса коренів контрольних 14- та 23-добових рослин були більшими у *T. spelta*. Водночас за довжиною коренів переважали рослини *T. aestivum* (рис. 1, 2). Інші автори повідомляли, що рослини спельти у фазу кущіння мали більшу довжину проростків, а у фазу цвітіння — довжину стебла головного пагона порівняно з голозерною м'якою пшеницею. Пшениця двозернянка характеризувалася більшою довжиною головного пагона порівняно з гомологічною за числом хромосом голозерною твердою пшеницею, але мала меншу масу коренів [1].

Ми встановили, що помірна ґрунтова посуха (протягом чотирьох діб) негативно вплинула на ріст і накопичення маси надземної частини й коренів обох досліджуваних видів пшениці. Так, у 18-добових рослин *T. aestivum* сорту Подолянка довжина надземної частини зменшилась на 19 %, коренів — на 11 %, маса надземної частини — на 21 %. Значно зменшилась маса кореневої системи (34 %). Після відновлення поливу на 23-тю добу довжина надземної частини була меншою від контрольної на 14 %, маса — на 25 %, тоді як довжина коренів була меншою за контрольні показники на 4 %, а їх маса зросла майже вдвічі порівняно з післястресовими рослинами, проте залишилась на 20 % меншою від контрольної (див. рис. 1).

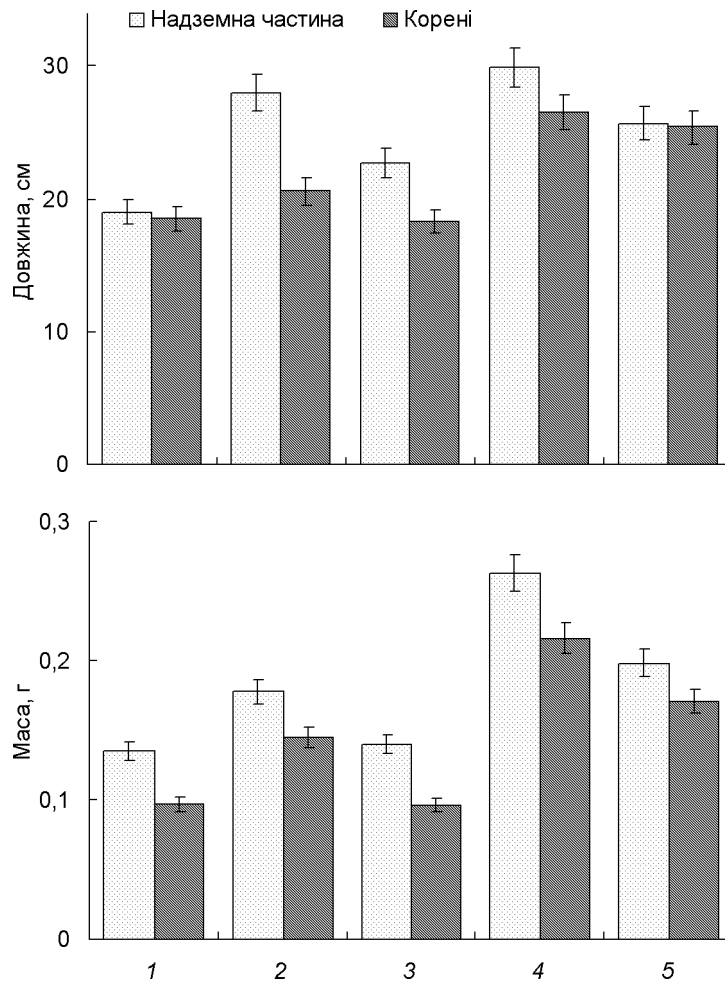


Рис. 1. Вплив ґрунтової посухи на морфометричні показники рослин *Triticum aestivum* сорту Подолянка. Тут і на рис. 2:

1 – контроль, 14-та доба; 2 – контроль, 18-та доба; 3 – 4-добова посуха, 18-та доба; 4 – контроль, 23-тя доба; 5 – відновлення після посухи, 23-тя доба

Після помірної ґрунтової посухи довжина надземної частини 18-добових рослин *T. spelta* неістотно відрізнялася від контрольних показників (3,5%), а довжина коренів зменшилась на 19%. Маса пагонів і кореневої системи зменшилися відповідно на 2 і 48%. У період реабілітації різниця між біометричними показниками контролю й досліду була менш виразною, проте повністю морфометричні показники у рослин, що зазнали впливу посухи, не відновилися (див. рис. 2).

Встановлено, що важливим механізмом, який дає змогу зберегти активний ріст кореневої системи в умовах поступового зниження вологості ґрунту, є осморегуляція [18]. Тригером цього процесу слугують стресові білки, пролін, аспарагінова й глутамінова амінокислоти, метиловані амонійні сполуки гліцин-бетаїну та аланіну [23]. Осморегуляція у пшениці досліджена в працях [24, 25]. Одним із її наслідків є зниження кавітації внаслідок формування судин із меншим діаме-

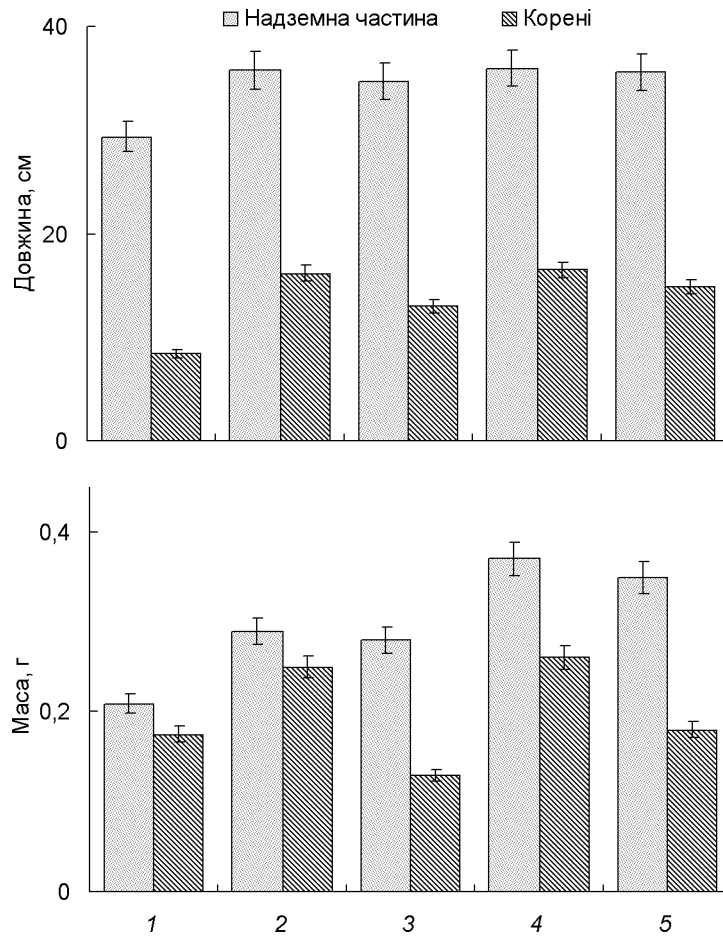


Рис. 2. Вплив ґрунтової посухи на морфометричні показники рослин *Triticum spelta* сорту Франкенкорн

тром [31] і заповнення водою пухирців у ксилемі за участю білків аквапоринів [29].

До водозабезпечення кореневої системи за несприятливих умов причетна також флоема, яка є важливим, а в окремих випадках єдиним джерелом водопостачання кінчика кореня, що дає можливість апексу подолати повітряні пазухи у ґрунті [34] й стимулює процес формування бічних коренів [26].

Встановлено, що ріст надземної частини рослин на відміну від коренів сильніше пригнічується за водного стресу [8, 24]. За нестачі води знижується індекс листової поверхні, закриваються продихи, зменшується газообмін, унаслідок чого поліпшується баланс між поглинанням і випаровуванням води рослиною. Водночас сповільнюються поділ і розтягування клітин, затримується утворення нових листків, пришвидшуються процеси старіння [27]. Виявлено, що у пшениці, яка зазнала дії водного дефіциту, зменшувались площа листків і питома поверхнева щільність листка. Осмотичний потенціал знижувався, глибина ґрунту, охоплена коренями, перевищувала 1 м, тоді як на ділянці, де рослини розвивались за оптимальних

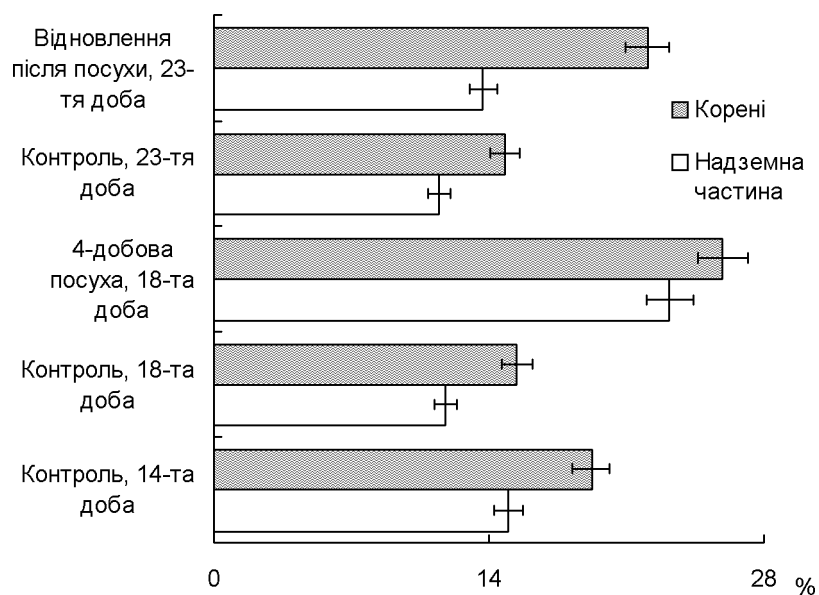


Рис. 3. Вплив ґрунтової посухи на вміст сухої речовини у надземній частині та коренях рослин *Triticum aestivum* сорту Подолянка

умов водопостачання — лише 50 см. В умовах посухи листки пшениці використовували 41 % води, за поливу — 55 % [13].

Отже, ґрунтова посуха значно пригнічувала ріст надземної частини *T. aestivum*, а надземна частина *T. spelta*, яка за розміром переважала такі самі за віком та умовами вирощування рослини пшениці, навпаки, виявила стійкість до посухи. Коренева система *T. spelta* була чутливішою до посухи порівняно з коренями *T. aestivum*. Отримані результати дають підставу припустити, що стратегія виживання за умов посухи у рослин *T. spelta* полягає в підтриманні росту надземної частини, у *T. aestivum* — у підтриманні життєдіяльності кореневої системи.

Помірна ґрунтова посуха протягом чотирьох діб призводила до збільшення вмісту сухої речовини у пагонах та кореневій системі 18-добових рослин *T. aestivum* сорту Подолянка на 11 та 10 % відповідно (рис. 3). На 23-тю добу після відновлення поливу зафіксовано зростання вмісту сухої речовини у коренях на 7 % порівняно з контролем.

Вміст сухої речовини у надземній частині 18-добових рослин *T. spelta*, які зазнали дії ґрунтової посухи, зріс на 2 %, тоді як цей показник у кореневій системі зменшився і становив 65 % контролю (рис. 4). В період відновлення після посухи на 23-тю добу в коренях і пагонах спостерігалось збільшення вмісту сухої речовини.

Вивченням реакції кореневої системи сортів і ліній озимої пшениці на водний стрес показано, що зменшення маси коренів і наступна стабілізація залежали від стійкості сорту. Так, у стійкого сорту Дон 93 маса сухих коренів знижувалась на 3 %, а у чутливої лінії 488/07 — на 32 %, зменшувалась також кількість корінців [6].

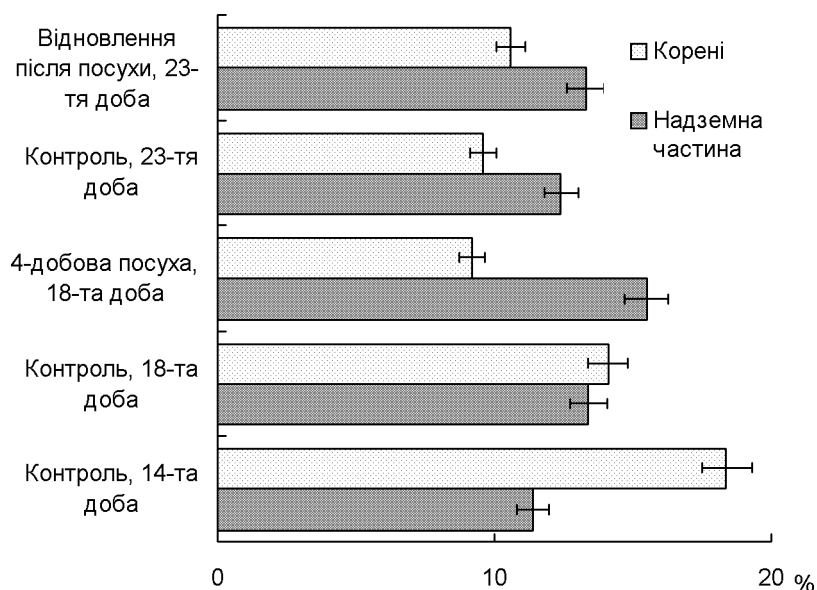


Рис. 4. Вплив ґрунтової посухи на вміст сухої речовини в надземній частині та коренях рослин *Triticum spelta* сорту Франкенкорн

Відмінності в реакції рослин *T. aestivum* і *T. spelta* на вплив помірної ґрунтової посухи, на нашу думку, зумовлені більшою витривалістю спельти, яку вважають вірогідним диким попередником пшениць. Дикі види рослин ліпше адаптовані до несприятливих умов вирощування, ніж їхні культурні родичі. Так, у *Lactuca sativa* та його дикого родича *L. serriola* виявлено істотні розбіжності в динаміці ростових процесів за умов посухи. Корені *L. serriola* глибше залягали в ґрунті й мали більшу водовбирну здатність, тому цей вид рекомендовано як потенційне джерело цінних агрономічних ознак [19]. З'ясувалося, що в ліній, отриманих у результаті бекросів культурного ячменю *Hordeum vulgare* і дикого виду *H. spontaneum*, із 81 локусу цінних алелів, що визначали габітус рослин, час колосіння, висоту й довжину стебла, 53 % були привнесені від дикого виду. У м'яких пшениць виявлено кілька кластерів QTL (quantitative trait loci), які позитивно впливали на ефективність використання води і морфофізіологічні ознаки рослин. Серед них центромерна зона хромосоми 2, яка визначає параметри кореневої системи [32].

На сучасному етапі вирощування пшениці чітко простежуються тенденції, спрямовані на відродження, селекцію і впровадження у виробництво забутих регіональних зернових культур, так званих античних злаків із цінними господарськими й харчовими властивостями. Одним із таких злаків є *T. spelta*. В результаті проведеного дослідження ми виявили неспецифічні та специфічні ознаки в реакції рослин *T. aestivum* і *T. spelta* на помірну ґрунтову посуху. За посухи зменшувались довжина й маса надземної та кореневої систем у обох видів. Чутливішою до стресу виявилась коренева система рослин, а зміни, зафіксовані у рослин *T. aestivum*, були інтенсивнішими. В період реабілітації на 23-тю добу відмінність між біометричними

ми показниками контролю й досліду зменшилась, проте повністю вони не зникли. Ростові показники і характер накопичення маси сухої речовини змінювались специфічно в реакціях-відповідях на помірну ґрунтову посуху в досліджуваних видів. У рослин *T. spelta* витривалішою була надземна частина, у *T. aestivum* — корені.

Автори висловлюють подяку академіку НАН України В.В. Моргуну за наукове обговорення, консультації щодо біологічних особливостей і надання насінневого матеріалу сортів озимої пшениці для проведення досліджень.

Публікація містить результати досліджень, виконаних у рамках проекту, що фінансується Національною академією наук України № III-82-17.454 «Фітогормональна система нових генотипів *Triticum aestivum* L. та її диких предків при дії екстремальних кліматичних факторів» (2017—2021 рр.).

#### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Борисова О.В., Ружицкая О.Н., Глушенко Ю.М., Чумаченко М.М., Підгірна А.І., Корновал Н.А. Морфометричні показники вегетативної частини рослин голозерних та плівчастих видів. *Проблеми и перспективы исследований растительного мира*. Матеріали Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых (Ялта, 13—16 мая 2014). Ялта, 2014. С. 207.
2. Господаренко Г.М., Костогриз П.В., Любич В.В., Парій М.Ф., Полторецький І.О. Пшениця спельта. Київ: Стік груп Україна, 2016. 300 с.
3. Дорофеев В.Ф., Удачин Р.А., Семенова Л.В. Пшеницы мира. Ленинград: ВО Агропромиздат, 1987. 560 с.
4. Жуковский П.М. Культурные растения и их сородичи. Ленинград: Колос, 1971. 752 с.
5. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические аспекты): теория и практика. Т. 1. Москва: Агрорус, 2008. 814 с.
6. Ионова Е.В., Газе В.Л., Шарова В.М., Некрасов Е.И. Корневая система и сухая масса растений озимой пшеницы в условиях провокационного фона «засушняк». *Зерновое хозяйство России*. 2016. № 1. С. 32—35.
7. Косаківська І.В. Екологічний напрямок у фізіології рослин: досягнення і перспективи. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2007. **39**, № 4. С. 279—290.
8. Кудоярова Г.Р., Холодова В.П., Веселов Д.С. Современное состояние проблемы водного баланса растений при дефиците воды. *Физиология растений*. 2013. **60**, № 2. С. 155—165.
9. Моргун В.В., Січкач С.М., Починок В.М., Нінієва А.К., Чугункова Т.М. Характеристика колекційних зразків спельти (*Triticum spelta* L.) за елементами структури продуктивності та хлібопекарською якістю. *Физиология растений и генетика*. 2016. **48**, № 2. С. 112—119.
10. Моргун В.В., Санін Є.В., Швартау В.В. Клуб 100 центнерів. Сучасні сорти та системи живлення і захисту озимої пшениці. Київ, 2004. 150 с.
11. Нінієва А.К., Козуб Н.О., Созінов І.О., Рибалка О.І., Леонов О.Ю., Твердохліб О.В., Богуславський Р.Л. Характеристика зразків *Triticum spelta* L. за показниками якості зерна та електрофоретичними спектрами запасних білків. *Вісн. Укр. т-ва генетиків і селекціонерів*. 2013. № 1. С. 96—105.
12. Твердохліб О.В., Богуславський Р.Л. Видове різноманіття пшениці, напрямки і перспективи його використання. *Зб. наук. праць Уманськ. нац. ун-ту садівництва*. 2012. Вип. 80, ч. 1. С. 37—47.
13. Эргашев А., Мунир Х. Площадь листьев и водный режим пшеницы в условиях водообеспечения и засухи. *Известия АН Респ. Таджикистан*. 2007. № 3 (160). С. 25—31.
14. Bengough A.G., McKenzie V.M., Hallett P.D., Valentine T.A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *J. Exp. Bot.* 2011. **62**. P. 59—68.



15. Campbell K.G. Spelt: agronomy, genetics, and breeding. *Plant Breeding Rev.* 1997. N 15. P. 187–213.
16. Galova Z., Knoblochova H. Biochemical characteristics of five spelt wheat cultivars (*Triticum spelta* L.). *Acta fytotechnica et zootechnica.* 2001. **4**. P. 85–87.
17. Gewin V. Food: An underground revolution. *Nature.* 2010. **466**. P. 552–553.
18. Hsiao T.C., Xu L. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *J. Exp. Bot.* 2000. **51**, N 350. P. 1595–1616.
19. Johnson W.C., Jackson L.E., Ochoa O., van Wijk R., Peleman J., Clair D.A.St., Micheltore R.W. Lettuce, a shallow-rooted crop, and *Lactuca serriola*, its wild progenitor, differ at QTL determining root architecture and deep soil water exploitation. *Theor. and Appl. Genet.* 2000. **101**, N 7. P. 1066–1073.
20. Kosakivska I.V., Voytenko L.V., Likhnyovskiy R.V., Ustinova A.Y. Effect of temperature on accumulation of abscisic acid and indole-3-acetic acid in *Triticum aestivum* L. seedlings. *Genetics and Plant Physiology.* 2014. **4** (3–4). P. 201–208.
21. Kosakivska I.V., Voytenko L.V., Likhnyovskiy R.V. Effect of temperature in *Triticum aestivum* L. seedlings growth and phytohormone balance. *J. of Stress Physiology & Biochemistry.* 2015. **11**, N 4. P. 91–99.
22. Luan S. Signaling drought in guard cells. *Plant Cell Environ.* 2002. **25**. P. 229–237.
23. Morgan J.M. Increases in grain yield of wheat by breeding for an osmoregulation gene: relationship to water supply and evaporative demand. *Austral. J. of Agricult. Research.* 2000. **51** (8). P. 971–978.
24. Morgan J.M. Adaptation to water deficits in three grain legume species. Mechanisms of turgor maintenance. *Field Crops Research.* 1992. **29**, N 2. P. 91–106.
25. Munns R., Brady C.J., Barlow E.W.R. Solute accumulation in the apex and leaves of wheat during water stress. *Austral. J. Plant Physiol.* 1979. **6**, N 3. P. 379–389.
26. Peret B., Larrieu A., Bennett M.J. Lateral root emergence: A difficult birth. *J. Exp. Bot.* 2011. **62**. P. 59–68.
27. Sadras V.O., Villalobos F.J., Fereres E., Wolf D.W. Leaf responses to soil water deficits: Comparative sensitivity of leaf expansion rate and leaf conductance in field-grown sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plant Soil.* 1993. **153**, N 2. P. 189–194.
28. Schmitz K. Dinkel – ein Getreide mit Zukunft. Backmittelinstitut aktuell Sonderausgabe. 2006. P. 1–8.
29. Secchi F., Zwieniecki M.A. Patterns of PIP gene expression in *Populus trichocarpa* during recovery from xylem embolism suggest a major role for the PIP1 aquaporin subfamily as moderators of refilling process. *Plant Cell Environ.* 2010. **33**. P. 1285–1297.
30. Serraj R., Sinclair T.R. Osmolyte accumulation: Can it really help increase crop yield under drought conditions? *Plant Cell Environ.* 2002. **25**. P. 333–341.
31. Sobrado M.A. Relationship of water transport to anatomical features in the mangrove *Laguncularia* race *mosa* grown under contrasting salinities. *New Phytol.* 2007. **173**. P. 584–591.
32. Talame V., Sanguineti M.C., Chiapparino E., Bahri H., Ben Salem M., Forster B.P., Ellis R.P., Rhouma S., Zoumarou W., Waugh R., Tuberosa R. Identification of *Hordeum spontaneum* QTL alleles improving field performance of barley grown under rainfed conditions. *Ann. of Appl. Biol.* 2004. **144**, N 3. P. 309–319.
33. Waines J.W., Endaie B. Domestication and crop physiology: Roots of green revolution wheat. *Ann. Bot.* 2007. **100**. P. 991–998.
34. Wiegiers B.S., Cheer A.Y., Silk W.K. Modeling the Hydraulics of Root Growth in Three Dimensions with Phloem Water Sources. *Plant Physiol.* 2009. **150**. P. 2092–2103.

Отримано 15.03.2018

## REFERENCES

1. Borysova, O.V., Ruzhytskaya, O.N., Hlushenko, Yu.M., Chumachenko, M.M., Pidhirna, A.I. & Lornoval, N.A. (2014, May). Morphometric indices of the vegetative part of plants of ocher and filamentous species. Problemy i perspektyvy issledovaniy rastitelnoho mira. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-praktycheskoi konferentsii molodykh uchenykh (pp. 207), Yalta [in Ukrainian].

2. Hospodarenko, H.M., Kostohryz, P.V., Lyubych, V.V., Pariy, M.F. & Poltoretsky, I.O. (2006). Wheat spelta. Kyiv: Stik hrup Ukraina [in Ukrainian].
3. Dorofeyev, V.F., Udachin, R.A. & Semenova, L.V. (1987). Wheat of the world. Leningrad: VO Agropromizdat [in Russian].
4. Zhukovskiy, P.M. (1971). Cultivated plants and their relatives. Leningrad: Kolos [in Russian].
5. Zhuchenko, A.A. (2008). Adaptive crop production (ecology-genetic aspects): theory and practice). Moskva: Agrorus. [in Russian].
6. Ionova, Ye.V., Gaze, V.L., Sharova, V.M. & Nekrasov, Ye.I. (2016). Root system and dry weight of winter wheat plants in conditions of provocative background for dry. *Zernovoye khozyaystvo Rossii*, No. 1, pp. 32-35 [in Russian].
7. Kosakiv's'ka, I.V. (2007). Ecological Direction in Plant Physiology: Achievements and Prospects. *Fiziologia i biokhimiya kul't. rastenij*, 39, No. 4, pp. 279-290 [in Ukrainian].
8. Kudoyarova, G.R., Kholodova, V.P. & Veselov, D.S. (2013). The current state of the problem of the water balance of plants in the presence of water shortages. *Fiziologiya rastenij*, 60, No. 2, pp. 155-165 [in Russian].
9. Morgun, V.V., Sichkar, S.M., Pochynok, V.M., Niniieva, A.K. & Chuhunkova, T.M. (2016). Characteristics of the collection of spelt (*Triticum spelta* L.) by elements of the structure of productivity and bakery quality. *Fiziol. rast. genet.*, 48, No. 2, pp. 112-119 [in Ukrainian].
10. Morgun, V.V., Sanin, Ye.V. & Shvartau, V.V. (2014). Club 100 centners. Modern varieties and systems of nutrition and protection of winter wheat. Kyiv: Logos [in Ukrainian].
11. Niniieva, A.K., Kozub, N.O., Sozinov, I.O., Rybalka, O.I., Leonov, O.Yu., Tverdokhlib, O.V. & Bohuslavs'kyj, R.L. (2013). Characteristics of *Triticum spelta* L. specimens for grain quality indices and electrophoretic spectra of storage proteins. *Visn. Ukr. tov-va henetykiv i selektsioneriv*, No. 1, pp. 96-105 [in Ukrainian].
12. Tverdokhlib, O.V. & Bohuslavs'kyi, R.V. (2012). Species diversity of wheat, trends and prospects for its use. *Zb. nauk. prats' Umans'k. nats. un-tu sadivnytstva*, 80, No. 1, pp. 37-47 [in Ukrainian].
13. Ergashev, A. & Munir, K.H. (2007). Leaf area and water regime of wheat in conditions of water supply and drought. *Izvestiya AN Resp. Tadzhikistan*, No. 3 (160), pp. 25-31 [in Russian].
14. Bengough, A.G., McKenzie, B.M., Hallett, P.D. & Valentine, T.A. (2011). Root Elongation, Water Stress, and Mechanical Impedance: A Review of Limiting Stresses and Beneficial Root Tip Traits. *J. Exp. Bot.*, 62, pp. 59-68.
15. Campbell, K.G. (1997). Spelt: agronomy, genetics, and breeding. *Plant Breeding Rev.*, No. 15, pp. 187-213.
16. Galova, Z. & Knoblochova, H. (2001). Biochemical characteristics of five spelt wheat cultivars (*Triticum spelta* L.). *Acta fytotechnica et zootechnica*, 4, pp. 85-87.
17. Gewin, V. (2010). Food: An Underground Revolution. *Nature*, 466, pp. 552-553.
18. Hsiao, T.C. & Xu, L. (2000). Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *J. Exp. Bot.*, 51, No. 350, pp. 1595-1616.
19. Johnson, W.C., Jackson, L.E., Ochoa, O., van Wijk, R., Peleman, J., Clair, D.A.St. & Michelmore, R.W. (2000). Lettuce, a shallow-rooted crop, and *Lactuca serriola*, its wild progenitor, differ at QTL determining root architecture and deep soil water exploitation. *Theoretical and Applied Genetics*, 101, No. 7, pp. 1066-1073.
20. Kosakiv's'ka, I.V., Voytenko, L.V., Likhnyovskiy, R.V. & Ustinova, A.Y. (2014). Effect of temperature on accumulation of abscisic acid and indole-3-acetic acid in *Triticum aestivum* L. seedlings. *Genetics and Plant Physiol.*, 4, No. 3-4, pp. 201-208 [in English].
21. Kosakiv's'ka, I.V., Voytenko, L.V. & Likhnyovskiy, R.V. (2015). Effect of temperature on *Triticum aestivum* L. seedlings growth and phytohormone balance. *J. of Stress Physiol. & Biochem.*, 11, No. 4, pp. 91-99.
22. Luan, S. (2002). Signaling Drought in Guard Cells. *Plant Cell Environ.*, 25, pp. 229-237.
23. Morgan, J.M. (2000). Increases in grain yield of wheat by breeding for an osmoregulation gene: relationship to water supply and evaporative demand. *Austral. J. of Agric. Res.*, 51 (8), pp. 971-978.

24. Morgan, J.M. (1992). Adaptation to water deficits in three grain legume species. Mechanisms of turgor maintenance. *Field Crops Research*, 29, No. 2, pp. 91-106.
25. Munns, R., Brady, C.J. & Barlow, E.W.R. (1979). Solute accumulation in the apex and leaves of wheat during water stress. *Austral. J. Plant Physiol.*, 6, pp. 379-389.
26. Peret, B., Larrieu, A. & Bennett, M.J. (2011). Lateral Root Emergence: A Difficult Birth. *J. Exp. Bot.*, 62, pp. 59-68.
27. Sadras, V.O., Villalobos, F.J., Fereres, E. & Wolf, D.W. (1993). Leaf responses to soil water deficits: Comparative sensitivity of leaf expansion rate and leaf conductance in field-grown sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plant Soil*, 153, No. 2, pp. 189-194.
28. Schmitz, K. (2006). Dinkel — ein Getreide mit Zukunft. Backmittelinstitut aktuell Sonderausgabe, pp. 1-8.
29. Secchi, F. & Zwieniecki, M.A. (2010). Patterns of PIP Gene Expression in *Populus trichocarpa* during Recovery from Xylem Embolism Suggest a Major Role for the PIP1 Aquaporin Subfamily as Moderators of Refilling Process. *Plant Cell Environ.*, 33, pp. 1285-1297.
30. Serraj, R. & Sinclair, T.R. (2002). Osmolyte Accumulation: Can It Really Help Increase Crop Yield under Drought Conditions? *Plant Cell Environ.*, 25, pp. 333-341.
31. Sobrado, M.A. (2007). Relationship of Water Transport to Anatomical Features in the Mangrove *Laguncularia racemosa* Grown under Contrasting Salinities. *New Phytol.*, 173, pp. 584-591.
32. Talame, V., Sanguineti, M.C., Chiapparino, E., Bahri, H., Ben Salem, M., Forster, B.P., Ellis, R.P., Rhouma, S., Zoumarou, W., Waugh, R. & Tuberosa, R. (2004). Identification of *Hordeum spontaneum* QTL alleles improving field performance of barley grown under rainfed conditions. *Ann. Appl. Biol.*, 144, No. 3, pp. 309-319.
33. Waines, J.W. & Endaie, B. (2007). Domestication and Crop Physiology: Roots of Green Revolution Wheat. *Ann. Bot.*, 100, pp. 991-998.
34. Wieggers, B.S., Cheer, A.Y. & Silk, W.K. (2009). Modeling the Hydraulics of Root Growth in Three Dimensions with Phloem Water Sources. *Plant Physiol.*, 150, pp. 2092-2103.

Received 15.03.2018

ВЛИЯНИЕ МОДЕЛИРОВАННОЙ ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХИ НА РОСТОВЫЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХ РОДСТВЕННЫХ ВИДОВ ПШЕНИЦЫ  
*TRITICUM AESTIVUM* L. И *TRITICUM SPELTA* L.

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

Институт ботаники им. Н.Г. Холодного Национальной академии наук Украины,  
Киев

В лабораторных условиях проанализировано влияние моделированной почвенной засухи на ростовые показатели растений *Triticum aestivum* L. сорта Подольянка и *Triticum spelta* L. сорта Франкенкорн. Установлено, что умеренная почвенная засуха (в течение четырех суток) негативно повлияла на рост и накопление массы сырого вещества в надземной части и корнях обоих исследуемых видов. У 18-суточных растений *T. aestivum* длина и масса надземной части уменьшились соответственно на 19 и 21 %, корней — на 11 и 34 %. После возобновления полива на 23-и сутки длины надземной части и корней были меньшими, чем контрольные показатели, а масса корней почти вдвое большей по сравнению с послестрессовыми растениями, однако осталась на 20 % меньше контрольной. Ростовые показатели надземной части 18-суточных растений *T. spelta* после умеренной почвенной засухи претерпели незначительные изменения, тогда как длина и масса корней уменьшились соответственно на 19 и 48 %. В период реабилитации отличия между биометрическими показателями контроля и опыта были менее выразительными, однако полного восстановления не произошло. Засуха привела к увеличению содержания сухого вещества в надземной части 18-суточных растений *T. aestivum* и уменьшению содержания сухого вещества в корневой системе *T. spelta*. Изменение ростовых показателей и характер накопления массы

сухого вещества были специфичными в реакциях на умеренную почвенную засуху у исследуемых видов. У растений *T. spelta* более выносливой оказалась надземная часть, у *T. aestivum* — корни.

DROUGHT STRESS EFFECTS ON GROWTH CHARACTERISTICS OF TWO  
RELATIVE WEATS *TRITICUM AESTIVUM* L. AND *TRITICUM SPELTA* L.

*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

The effects of soil drought on the growth characteristics of plants *Triticum aestivum* L. cv. Podolyanka and *Triticum spelta* L. cv. Frankenkorn were analyzed in laboratory experiment. It was shown that a moderate soil drought (four days) had a negative effect on the growth and accumulation of the leaves and roots fresh mass of both species. In 18-day-old *T. aestivum* plants, the length and weight of the leaves decreased by 19 and 21 %, and the roots — by 11 and 34 %, respectively. After the renewal of irrigation at 23-th day, the length of leaves and roots were less than the control ones, whereas the root mass increased almost twice as compared with after stress plants, but remained 20 % less than control. The growth characteristics of the 18-day-old *T. spelta* leaves after moderate soil drought had minor changes, while the length and weight of the roots have decreased by 19 and 48 %, respectively. During the recovery period, the difference between the biometrical characteristics of control and experiment plants was less pronounced, but there was no complete recovery. Drought increased the content of dry matter in the leaves of the 18-day-old *T. aestivum* and decreased in the root system of *T. spelta*. The changes in growth characteristics and accumulation of dry matter revealed species-specific response to moderate soil drought. The leaves of *T. spelta* were more tolerant to moderate soil drought, whereas in *T. aestivum* there were roots.

*Key words:* *Triticum aestivum* L., *Triticum spelta* L., soil drought, growth, stress tolerance.