

<https://doi.org/10.15407/frg2019.01.055>

УДК 577.85.1:581.142:582.542.11

ВПЛИВ ЕКЗОГЕННОЇ АБСЦИЗОВОЇ КИСЛОТИ НА ПРОРОСТАННЯ ЗЕРНІВОК І МОРФОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОРОСТКІВ СПОРІДНЕНИХ ВИДІВ ПШЕНИЦЬ *TRITICUM* *AESTIVUM* L. ТА *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 виявлено гальмівний ефект екзогенної абсцизової кислоти (АБК) на проростання зернівок споріднених видів пшениць *Triticum aestivum* L. та *Triticum spelta* L. Гормон у концентрації 10^{-5} і 10^{-6} М істотно гальмував проростання зернівок озимої пшениці сорту Подолянка. Через 24 год кількість зернівок із чітко вираженим зародковим коренем та захищеною колеоптилем плюмулою в дослідних рослин була вдвічі меншою, ніж у контролі. За інкубації на 10^{-7} М кількість пророслих зернівок наближалась до контрольного показника і дорівнювала 48 %. Схожість зернівок пливчастого виду *T. spelta* сорту Франкенкорн, який розглядається як один з імовірних диких попередників м'якої пшениці, була вищою. Наявність луски позитивно впливала на проростання зернівок. Через 24 год кількість зернівок із чітко вираженим зародковим коренем і захищеною колеоптилем плюмулою змінювалась у межах 65—81 %, а гальмівний ефект спостерігався після інкубації на 10^{-5} М розчині АБК. Виявлено неспецифічні й специфічні риси в реакції проростків *T. spelta* і *T. aestivum* на дію екзогенної АБК. Так, зміни довжини органів надземної частини та коренів зафіксовано для обох видів пшениць при вирощуванні зернівок на розчинах усіх концентрацій АБК. Проте ріст і розвиток проростків *T. spelta* за інкубації зернівок на розчинах АБК на другу та третю добу пригнічувались, натомість *T. aestivum* — посилювались. Зміни морфометричних показників проростків обох видів пшениць за інкубації зернівок на 10^{-6} М розчині АБК наближались до контрольних. Істотно відрізнялись види пшениць за накопиченням маси проростків: в озимої пшениці вона збільшувалась при інкубації на 10^{-6} та 10^{-7} М розчинах АБК, тоді як у спельти — частково зменшувалась. Найбільший гальмівний ефект спостерігався через 72 год інкубації на 10^{-5} М розчині АБК. Обговорено можливість використання екзогенної АБК для праймування зернівок з метою підвищення їх стресостійкості.

Ключові слова: *Triticum aestivum*, *Triticum spelta*, абсцизова кислота, морфометрія, стійкість.

Найважливішими функціями фітогормонів є контроль і координація механізмів, що регулюють процеси проростання та спокою насіння й

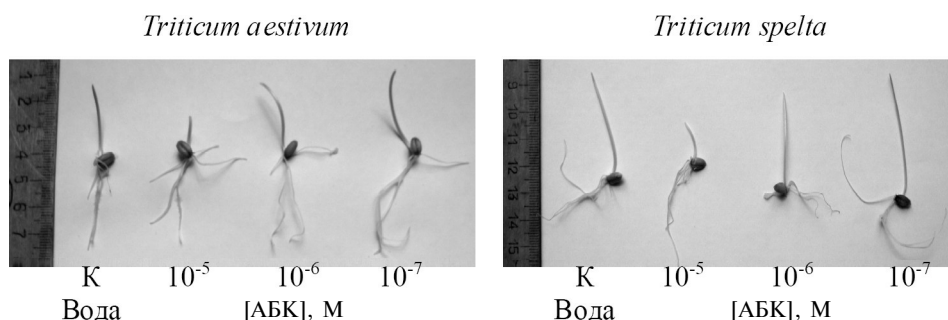
визначаються характером взаємодії з геномом рослин [15]. У результаті дослідження геному *Arabidopsis* створено модель мережі сигнальних шляхів контролю процесів спокою та проростання насіння, визначено відповідальні за біосинтез та активність фітогормонів гени [9]. Поліфункціональний фітогормон абсцизова кислота міститься в усіх органах рослин, взаємодіє з іншими гормонами, задіяний в регуляції широкого спектра фізіологічних процесів [2, 20, 26]. Однією з ключових функцій АБК є регуляція процесів дозрівання та проростання насіння [11, 13]. Встановлено, що вміст гормону в насінні змінюється впродовж ембріогенезу. Так, на етапі інтенсивного поділу клітин і диференціації тканин, формування зародка й ендосперму рівень АБК низький, тоді як після припинення поділу клітин і під час акумуляції запасних речовин — зростає, а при переході до стану спокою знову зменшується [11, 24]. АБК експресує гени стресових LEA протеїнів [3, 21], які накопичуються під час висихання насіння та у вегетативних тканинах за умов зневоднення [10, 14, 16]. АБК є визнаним гормоном стресу, а стресіндуковану акумуляцію АБК розглядають як складову захисного механізму, спрямованого на сповільнення й адаптацію до впливу абіотичних і біотичних стресових чинників [26, 27]. У вегетуючих тканинах судинних рослин АБК накопичується за умов водного стресу чи посухи, при цьому гормон контролює закриття продихів та експресує гени, відповідальні за стійкість до зневоднення [12, 14, 22]. Обробка насіння квасолі екзогенною АБК у концентрації 10^{-6} М приводила до акумуляції в листках проростків цитокінінів, ауксинів та гіберелінів, що стимулювало їх ріст і розвиток [1].

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* і плівчаста пшениця *Triticum spelta*, яку розглядають як один з імовірних диких попередників м'якої пшениці, характеризуються гомологічним геномним складом і належать до гексаплоїдних пшениць [8]. Раніше ми виявили неспецифічні й специфічні морфофенологічні ознаки в реакції рослин *T. aestivum* і *T. spelta* на помірну ґрунтову посуху. Зокрема, витривалішою виявилася надземна частина спельти, тоді як у рослин озимої пшениці стійкішими були корені [4].

Характер морфофенологічних, анатомічних і фізіологічних змін при проростанні зернівок пшениці за обробки їх АБК є маловивченим, тому метою цієї роботи було дослідження впливу екзогенної АБК на проростання зернівок, подальший ріст і розвиток проростків двох споріднених видів роду *Triticum*.

Методика

Досліджували рослини голозерної озимої пшениці *T. aestivum* сорту Подолянка та плівчастої пшениці *T. spelta* сорту Франкенкорн. Сорт Подолянка належить до групи сильних сортів безостих пшениць, високоврожайний, інтенсивного типу; надзвичайно стійкий до вилягання, морозостійкий, має високу посухостійкість, толерантний до ураження борошнистою росою, іржею та фузаріозом [5]. Зернівки пшениці отримано з колекції Інституту фізіології рослин та генетики



Проростки, вирощені на папері, змоченому водою (контроль), та розчинами абсцизової кислоти різної концентрації (72 год)

НАН України. Сорт спельти Франкенкорн середньорослий, стійкий до вилягання, морозостійкий, екологічно пластичний, вважається генетично найчистішим сортом *T. spelta* [23]. Зернівки спельти отримано з колекції Національного центру генетичних ресурсів рослин України (м. Харків).

Сухі відкалібровані зернівки пшениці та спельти (по 50 шт.) замочували на 3 год у дистильованій воді, після чого переносили у чашки Петрі на зволожений дистильованою водою (контроль) і 10^{-5} – 10^{-7} М розчинами АБК фільтрувальний папір. Зернівки пророщували в термостаті за температури $+24$ °С впродовж 21 год, після чого проростки вирощували у контрольованих умовах за температури $+20/17$ °С (день/ніч), інтенсивності освітлення 690 мкмоль/($m^2 \cdot c$), фотоперіоду 16/8 год (день/ніч), відносної вологості повітря 65 ± 5 %. Ріст рослин оцінювали за морфометричними показниками надземної частини і коренів, які визначали через кожні 24 год упродовж трьох діб (рисунок).

ТАБЛИЦЯ 1. Проростання зернівок *Triticum aestivum* сорту Подолька за їх інкубації на розчинах абсцизової кислоти

Варіант	Пророслі зернівки, %	Накльонуті зернівки, %	Непророслі зернівки, %	Схожість, %
24 год				
Контроль	50	44	6	94
АБК 10^{-5} М	20	66	14	86
АБК 10^{-6} М	28	60	12	88
АБК 10^{-7} М	46	48	6	94
48 год				
Контроль	82	15	3	97
АБК 10^{-5} М	55	33	12	88
АБК 10^{-6} М	51	39	10	90
АБК 10^{-7} М	73	19	8	92

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

Результати та обговорення

На початку дослідження ми провели скринінг концентрацій екзогенної АБК для інкубації зернівок. Як видно з даних табл. 1, гормон у концентрації 10^{-5} і 10^{-6} М істотно гальмував проростання зернівок озимої пшениці. Через 24 год кількість зернівок із чітко вираженим зародковим коренем і захищеною колеоптилем плюмулою в дослідних рослин була вдвічі меншою, ніж у контролі. За дії АБК в концентрації 10^{-7} М кількість пророслих зернівок наближалася до контрольного показника і дорівнювала 48 %. Водночас кількості зернівок, які наклонилися і мали прикритий колеоризою корінь, а також непророслих зернівок за інкубації їх на 10^{-5} і 10^{-6} М розчинах АБК були більшими, ніж у контролі. Результати, отримані за дії АБК в концентрації 10^{-7} М, були близькими до контролю. На 48-му годину за інкубації на 10^{-5} і 10^{-6} М розчинах АБК кількості пророслих зернівок залишалися значно меншими, ніж у контролі та за дії 10^{-7} М АБК, а схожість обробленого гормоном насіння знаходилась у межах 88—92 % (див. табл. 1).

У дослідах із піввчастою пшеницею *Triticum spelta* сорту Франкенкорн проаналізовано особливості проростання зернівок за наявності та за відсутності луски. З'ясувалося, що за відсутності луски через 24 год після замочування більш як 90 % зернівок наклонулося, тоді як пророслих зернівок із чітко вираженим зародковим коренем не було. На 48-му годину зафіксовано пророслі зернівки, найменше їх було за інкубації на 10^{-5} М розчині АБК. На 48-му годину схожість оброблених гормоном зернівок становила 90—94 % (табл. 2).

ТАБЛИЦЯ 2. Проростання зернівок *Triticum spelta* сорту Франкенкорн за їх інкубації на розчинах абсцизової кислоти (насіння без лусок)

Варіант	Пророслі зернівки, %	Наклонуті зернівки, %	Непророслі зернівки, %	Схожість, %
24 год				
Контроль	Не було	94	6	94
АБК 10^{-5} М	“ “	90	10	90
АБК 10^{-6} М	“ “	92	8	92
АБК 10^{-7} М	“ “	92	8	92
48 год				
Контроль	14	82	4	96
АБК 10^{-5} М	6	84	10	90
АБК 10^{-6} М	16	74	10	90
АБК 10^{-7} М	18	76	6	94

ВЛИЯНИЕ ЭКЗОГЕННОЙ АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТЫ

ТАБЛИЦЯ 3. Проростання зернівок *Triticum spelta* сорту Франкенкорн за їх інкубації на розчинах абсцизової кислоти (насіння в лусках)

Варіант	Пророслі зернівки, %	Наклонуті зернівки, %	Непророслі зернівки, %	Схожість, %
24 год				
Контроль	78	22	Не було	100
АБК 10 ⁻⁵ М	65	35	“ “	100
АБК 10 ⁻⁶ М	83	17	“ “	100
АБК 10 ⁻⁷ М	81	19	“ “	100
48 год				
Контроль	92	8	“ “	100
АБК 10 ⁻⁵ М	82	18	“ “	100
АБК 10 ⁻⁶ М	86	14	“ “	100
АБК 10 ⁻⁷ М	94	6	“ “	100

У досліді із зернівками в лусках з’ясувалося, що на 24-ту годину кількість зернівок із чітко вираженим зародковим коренем і захищеною колеоптилем плюмулою змінювалась у межах 65–81 %, а гальмівний ефект спостерігався після інкубації на 10⁻⁵ М розчині АБК. На 48-му годину кількість пророслих зернівок сягала 94 %. Схожість насіння становила 100 % (табл. 3).

Отримані результати опосередковано підтвердили можливість проникнення екзогенної АБК у зернівки. В роботах інших авторів було показано, що після обробки рослин соняшника екзогенною АБК гормон проникав у листки через ксилему, розподілявся у компартментах клітин і залежно від швидкості біохімічних реакцій метаболізувався на 70 % [19]. Водночас повідомлялося, що для сухого насіння характерний високий вміст кон’югованої і низький — вільної (активної) форми АБК [7].

Отже, в результаті проведених досліджень встановлено, що в лабораторних умовах у контролі та за дії екзогенної АБК схожість зернівок півчастого виду *T. spelta* вища. Наявність луски позитивно впливала на проростання й розвиток зернівок, що вказує на її захисну і живильну функції. Гальмівний ефект різних концентрацій АБК на проростання зернівок обох видів пшениць був подібним. Стійкішою до дії гормону виявилася спельта, в якій на 24-ту годину інкубації проросли й наклонилися всі зернівки. Натомість проростання зернівок озимої пшениці активізувалося на 48-му годину інкубації. Найсильніший гальмівний ефект чинила АБК в концентрації 10⁻⁵ М.

На 24-ту годину інкубації на розчинах АБК у проростків *T. aestivum* зафіксовано гальмування росту плюмули. Найвиразніший ефект спостерігався за використання 10⁻⁵ М розчину АБК. Подовження первинного зародкового кореня виявлено за інкубації на 10⁻⁷ М розчині АБК (табл. 4).

На 48-му годину інкубації на 10⁻⁵ і 10⁻⁶ М розчинах АБК ріст колеоптилів гальмувався, а за інкубації на 10⁻⁷ М розчині довжини за-

ТАБЛИЦЯ 4. Вплив екзогенної абсцизової кислоти на морфометричні показники проростків *Triticum aestivum* сорту Подолянка (мм)

Частина проростка	Контроль	АБК 10 ⁻⁵ М	АБК 10 ⁻⁶ М	АБК 10 ⁻⁷ М
24 год				
Плюмула, захищена колеоптилем	6,2±0,3	3,1±0,2	3,5±0,2	4,6±0,2
Первинний зародковий корінь	4,3±0,2	4,4±0,2	4,6±0,2	5,8±0,3
48 год				
Колеоптиль	11,2±0,6	5,7±0,3	7,6±0,4	12,2±0,6
Зародкові корені	21,8±1,1	15,3±0,8	22,3±1,1	23,6±1,2
72 год				
Надземна частина	28,0±1,4	14,4±0,7	25,9±1,3	30,2±1,5
Корені	31,8±1,6	32,4±1,6	42,9±2,1	42,6±2,1

ТАБЛИЦЯ 5. Вплив екзогенної абсцизової кислоти на морфометричні показники проростків *Triticum spelta* сорту Франкенкорн (мм)

Частина проростка	Контроль	АБК 10 ⁻⁵ М	АБК 10 ⁻⁶ М	АБК 10 ⁻⁷ М
24 год				
Плюмула, захищена колеоптилем	3,4±0,2	3,8±0,2	5,1±0,3	5,3±0,3
Первинний зародковий корінь	9,6±0,5	5,7±0,3	5,8±0,5	9,0±0,5
48 год				
Колеоптиль	17,8±0,9	7,4±0,9	14,4±0,7	20,5±1,0
Зародкові корені	44,3±2,2	29,4±1,5	36,4±1,8	42,0±2,1
72 год				
Надземна частина	42,9±2,3	17,3±0,9	38,2±1,9	41,6±2,0
Корені	47,3±2,4	28,7±1,4	39,5±2,0	54,6±2,7

родкового кореня й колеоптилю зросли і дещо перевищували контрольні значення. На 72-гу годину довжина надземної частини проростків після інкубації на 10⁻⁵ і 10⁻⁶ М розчинах АБК була меншою за контрольну, тоді як за інкубації на 10⁻⁷ М розчині — більшою. АБК стимулювала подовження коренів на всіх етапах розвитку. Найвиразніший ефект зафіксовано за інкубації на 10⁻⁷ М розчині АБК (див. табл. 4).

На 24-ту годину інкубації зернівок *T. spelta* на розчинах усіх концентрацій АБК довжина захищеної колеоптилем плюмули збільшувалась, тоді як ріст первинного зародкового кореня — гальмувався. На наступних етапах дослідження позитивний вплив на ріст проростків зафіксовано за інкубації на 10⁻⁷ М розчині АБК. Найбільший негативний вплив спостерігали за інкубації на 10⁻⁵ М розчині АБК (табл. 5).

ВЛИЯНИЕ ЭКЗОГЕННОЙ АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТЫ

ТАБЛИЦЯ 6. Вплив екзогенної абсцизової кислоти на масу проростків *Triticum aestivum* сорту Подолянка (мг)

Варіант	24 год	48 год	72 год
Контроль	63±3,2	81±4,1	128±6,4
АБК 10 ⁻⁵ М	53±2,7	85±4,2	128±6,4
АБК 10 ⁻⁶ М	54±2,7	88±4,4	153±7,7
АБК 10 ⁻⁷ М	56±2,8	91±4,6	154±7,7

ТАБЛИЦЯ 7. Вплив екзогенної абсцизової кислоти на масу проростків *Triticum spelta* сорту Франкенкорн (мг)

Варіант	24 год	48 год	72 год
Контроль	89,6±4,5	145,7±7,3	181,1±9,1
АБК 10 ⁻⁵ М	86,3±4,3	131,0±6,6	137,2±6,9
АБК 10 ⁻⁶ М	89,3±4,5	136,5±6,8	142,8±7,1
АБК 10 ⁻⁷ М	86,7±4,3	151,0±7,6	161,1±8,1

Отже, для проростків озимої пшениці характерний активний ріст кореневої системи, тоді як для спельти — надземної. Загалом проростки спельти за морфометричними показниками переважали проростки озимої пшениці.

Маса проростків *T. aestivum* на 24-ту годину інкубації на розчинах усіх концентрацій АБК була меншою, ніж у контролі, тоді як на 48-му і 72-гу години перевищувала контрольні показники. Найвиразніший ефект зафіксовано за інкубації на 10⁻⁷ М розчині АБК, коли на 48-му та 72-гу години маси проростків збільшились відповідно на 12 і 19 % (табл. 6).

На 24-ту годину маса проростків *T. spelta*, вирощених на 10⁻⁶ М розчині АБК, знаходилась у межах контролю, тоді як за інкубації на 10⁻⁵ і 10⁻⁷ М розчинах — зменшувалася. На 48-му годину інкубації на 10⁻⁵ і 10⁻⁶ М розчинах АБК маса проростків була меншою за контрольні значення, а на 10⁻⁷ М — більшою. Найсильніший гальмівний ефект спостерігався на 72-гу годину інкубації на 10⁻⁵ М розчині АБК (табл. 7).

На сьогодні питання щодо інгібувальної чи стимулювальної дії АБК до кінця не з'ясоване [18]. Так, активний синтез АБК зафіксовано під час росту етіюльованих гіпокотилів томатів у період гетеротрофного живлення, проте за переходу до автотрофного живлення біосинтез гормону сповільнюється [17]. Низькі концентрації екзогенної АБК зумовили подовження етіюльованих мезокотилів проростків рису, але гальмували розвиток колеоптилів [25]. Повідомлялося, що екзогенна АБК збільшувала обводненість проростків пшениці, але не впливала на схожість зернівок, висоту рослин і площу первинного листка [6].

Ми у своєму дослідженні виявили неспецифічні й специфічні риси в реакції проростків *T. spelta* і *T. aestivum* на дію екзогенної АБК. Так, зміни довжини органів надземної частини і коренів

зафіксовано для обох видів пшениць при вирощуванні зернівок на розчинах усіх концентрацій АБК. Найсильніший гальмівний ефект чинила інкубація на 10^{-5} М розчині АБК. Ефекти 10^{-6} М розчину АБК були наближені до контролю, що дає підставу розглядати таку концентрацію гормону як фізіологічну. Водночас зміни морфометричних показників у півчистої пшениці спелти за інкубації на розчинах АБК були виразнішими, ніж в озимій пшениці. Істотно відрізнялись види пшениць і за накопиченням маси проростків, яка в озимій пшениці збільшувалась за інкубації на 10^{-6} і 10^{-7} М розчинах АБК, тоді як у спелти її накопичення гальмувалось. Отримані результати дають підставу розглядати можливість застосування екзогенної АБК для праймування зернівок з метою підвищення їх стресостійкості.

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

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

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Васюк В.А., Генералова В.М., Веденичова Н.П., Мартин Г.І., Мусатенко Л.І. Участь абсцизової кислоти в регуляції росту первинного листка *Phaseolus vulgaris* L. *Укр. ботан. журн.* 2005. **62**, № 5. С. 574—580.
2. Войтенко Л.В., Косаківська І.В. Поліфункціональний фітогормон абсцизова кислота. *Вісник Харків. нац. аграр. ун-ту.* 2016. **1**, № 37. С. 27—41.
3. Косаковская И.В. Стрессовые белки растений. Киев. Фитосоцицентр, 2008. 151 с.
4. Косаківська І.В., Васюк В.А., Войтенко Л.В. Вплив модельованої ґрунтової посухи на ростові характеристики споріднених видів пшениць *Triticum aestivum* L. та *Triticum spelta* L. *Фізіологія рослин і генетика.* 2018. **50**, № 3. С. 241—252.
5. Моргун В.В., Санін Є.В., Швартау В.В. Клуб 100 центнерів. Сучасні сорти та системи живлення і захисту озимій пшениці. Київ: Логос, 2004. 150 с.
6. Пустовойтова Т.Н., Меликсетян Н.А. Торможение роста абсцизової кислотою і засухоустойчивость проростков пшеницы. *Фізіологія рослин.* 1985. **32**, № 1. С. 169—175.
7. Ситник К.М., Мусатенко Л.І., Васюк В.А., Веденичова Н.П., Генералова В.М., Мартин Г.Г., Нестерова А.Н. Гормональний комплекс рослин і грибів. Київ, 2003. 186 с.
8. 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** (2). P. 250—257. doi: 10.15421/021837.
9. Bassel G.W., Lanc H., Glaab E., Gibbs D.J., Gerjets T., Krasnogor N., Bonner A.J., Holdsworth M.J., Provart N.J. Genome-wide network model capturing seed germination reveals coordinated regulation of plant cellular phase transitions. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2011. **108**, N 23. P. 9709—9714.
10. Bray E.A. Abscisic acid regulation of gene expression during water-deficit stress in the era of the Arabidopsis genome. *Plant Cell Environ.* 2002. **25**. P. 153—161.
11. Chandrasekaran U., Liu A. Endogenous abscisic acid signaling towards storage reserve filling in developing seed tissues of castor bean (*Ricinus communis* L.). *Plant Growth Regul.* 2014. **72**. P. 203—207.

12. Christmann A., Weiler E.W., Steudle E., Grill E. A hydraulic signal in root-to-shoot signaling of water shortage. *Plant J.* 2007. **52**. P. 167–174.
13. Finkelstein R.R., Rock C.D. Abscisic acid biosynthesis and response. *The Arabidopsis Book* / Eds. C.R. Somerville, E.M. Meyerowitz. Amer. Soc. Plant Biologists: Rockville, MD, 2002. P. 137–155. doi.: <https://doi.org/10.1199/tab.0058>.
14. Finkelstein R.R., Gampala S.S., Rock C.D. Abscisic acid signaling in seeds and seedlings. *Plant Cell.* 2002. **14**. P. 15–45.
15. Graeber K., Nakabayashi K., Miatton E., Leubner-Metzger G., Soppe W.J.J. Molecular mechanisms of seed dormancy. *Plant Cell Environ.* 2012. **35**, N 10. P. 1769–1786.
16. Hasegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.K., Bohnert H.J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 2000. **51**. P. 463–499.
17. Humplík J.F., Bergougnoux V., Jandová M., Šimura J., Pěňčík A., Tomanec O., Rolčík J., Novák O., Fellner M. Endogenous abscisic acid promotes hypocotyl growth and affects endoreduplication during dark-induced growth in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *PLoS One.* 2015. **10**, N 2. P. 1–23.
18. Humplík J.F., Bergougnoux V., Van Volkenburgh E. To stimulate or inhibit? That is the question for the function of abscisic acid. *Trend Plant Sci.* 2017. **22**, N 10. P. 830–843.
19. Jia W., Zhang J. Stomatal closure is induced rather by prevailing xylem abscisic acid than by accumulated amount of xylem-derived abscisic acid. *Physiol. Plant.* 1999. **106**, N 2. P. 268–275.
20. Olds C.L., Glennon E.K.K., Luckhart S. Abscisic acid: new perspectives on an ancient universal stress signaling molecule. *Microbes and Infection.* 2018. **34**. P. 1–40.
21. Phillips J., Artsaenko O., Fiedler U., Horstmann C., Mock H. P., Muntz K., Conrad U. Seed-specific immunomodulation of abscisic acid activity induces a developmental switch. *EMBO J.* 1997. **16**. P. 4489–4496.
22. Rock C.D., Sakata Y., Quatrano R.S. Stress signaling: the role of abscisic acid (ABA). *Abiotic Stress Adaptation in Plants* / Eds. A. Pareek, S.A. Sopory, H.J. Bohner. Dordrecht. Springer. 2010. P. 33–73.
23. Schmitz K. Dinkel — ein Getreide mit Zukunft. Backmittelinstitut aktuell Sonderausgabe. 2006. P. 1–8.
24. Taiz L., Zeiger E. Abscisic acid: A seed maturation and antistress signal. *Plant physiology*. 3rd edn. L. Taiz, E. Zeiger, Sunderland: Sinauer Associates, 2002. P. 539–558.
25. Takahashi K. Abscisic acid as a stimulator for rice mesocotyl growth. *Nat. New Biol.* 1972. **238**. P. 92–93.
26. Vishwakarma K., Upadhyay N., Kumar N., Yadav G., Singh J., Mishra R., Kumar Vivek, Verma R., Upadhyay R.G., Pandey M., Sharma S. Abscisic acid signaling and abiotic stress tolerance in plants: a review on current knowledge and future prospects. *Frontiers Plant Sci.* 2017. **8**. P. 161–173.
27. Wilkinson S., Davies W.J. ABA-Based chemical signalling: the Co-ordination of responses to stress in plants. *Plant Cell Environ.* 2002. **25** (1). P. 195–210.

Отримано 17.01.2019

REFERENCES

1. Vasyuk, V.A., Generalova, V.M., Vedenichova, N.P., Martin, G.I. & Musatenko, L.I. (2005). Participation of abscisic acid in the regulation of growth of the primary leaf *Phaseolus vulgaris* L. *Ukr. Botan. zhurn.*, 62, No. 5, pp. 574-580 [in Ukrainian].
2. Voytenko, L.V. & Kosakivska, I.V. (2016). Polyfunctional phytohormone abscisic acid. *Visnyk Kharkiv. nats. agrar. un-tu*, 1, No. 37, pp. 27-41 [in Ukrainian].
3. Kosakovskaya, I.V. (2008). *Stress proteins of plants*. Kiev: Phytocenter. 151 p. [in Russian].
4. Kosakovskaya, I.V., Vasyuk, V.A. & Voytenko, L.V. (2018). Effect of modeled soil drought on growth characteristics of related species *Triticum aestivum* L. and *Triticum spelta* L. *Fiziol. rast. genet.*, 50, No. 3, pp. 241-252 [in Ukrainian].
5. 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].

6. Pustovoitova, T.N. & Meliksetyan, N.A. (1985). Inhibition of growth with abscisic acid and drought tolerance of wheat seedlings. *Fiziologiya Rasteniy*, 32, No. 1, pp. 169-175 [in Russian].
7. Sytnik, K.M., Musatenko, L.I., Vasyuk, V.A., Vedenichova, N.P., Generalova, V.M., Martin, G.G. & Nesterova, A.N. (2003). Hormonal complex of plants and mushrooms. Kyiv [in Ukrainian].
8. 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.
9. Bassel, G.W., Lanc, H., Glaab, E., Gibbs, D.J., Gerjets, T., Krasnogor, N., Bonner, A.J., Holdsworth, M.J. & Provart, N.J. (2011). Genome-wide network model capturing seed germination reveals coordinated regulation of plant cellular phase transitions. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 108, No. 23, pp. 9709-9714.
10. Bray, E.A. (2002). Abscisic acid regulation of gene expression during water-deficit stress in the era of the Arabidopsis genome. *Plant Cell Environ.*, 25, pp. 153-161.
11. Chandrasekaran, U. & Liu, A. (2014). Endogenous abscisic acid signaling towards storage reserve filling in developing seed tissues of castor bean (*Ricinus communis* L.). *Plant Growth Regul.*, 72, pp. 203-207.
12. Christmann, A., Weiler, E.W., Steudle, E. & Grill, E. (2007). A hydraulic signal in root-to-shoot signaling of water shortage. *Plant J.*, 52, pp. 167-174.
13. Finkelstein, R.R. & Rock, C.D. (2002). Abscisic acid biosynthesis and response. *The Arabidopsis Book*. Eds. C.R. Somerville, E.M. Meyerowitz. Amer. Soc. Plant Biologists: Rockville, MD, pp. 137-155.
14. Finkelstein, R.R., Gampala, S.S. & Rock, C.D. (2002). Abscisic acid signaling in seeds and seedlings. *Plant Cell.*, 14, pp. 15-45.
15. Graeber, K., Nakabayashi, K., Miatton, E., Leubner-Metzger, G. & Soppe, W.J.J. (2012). Molecular mechanisms of seed dormancy. *Plant Cell Environ.*, 35, No. 10, pp. 1769-1786.
16. Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K. & Bohnert, H.J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 51, pp. 463-499.
17. Humplik, J.F., Bergougnoux, V., Jandová, M., Šimura, J., Pěňčík, A., Tomanec, O., Rolčík, J., Novák O. & Fellner, M. (2015). Endogenous abscisic acid promotes hypocotyl growth and affects endoreduplication during dark-induced growth in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *PLoS One.*, 10, No. 2, pp. 1-23.
18. Humplik, J.F., Bergougnoux, V. & Van Volkenburgh, E. (2017). To stimulate or inhibit? That is the question for the function of abscisic acid. *Trend Plant Sci.*, 22, No. 10, pp. 830-843.
19. Jia, W. & Zhang, J. (1999). Stomatal closure is induced rather by prevailing xylem abscisic acid than by accumulated amount of xylem-derived abscisic acid. *Physiol. Plant.*, 106, No. 2, pp. 268-275.
20. Olds, C.L., Glennon, E.K.K. & Luckhart, S. (2018). Abscisic acid: new perspectives on an ancient universal stress signaling molecule. *Microbes and Infection*, 34, pp. 1-40.
21. Phillips, J., Artsaenko, O., Fiedler, U., Horstmann, C., Mock, H. P., Muntz, K. & Conrad, U. (1997). Seed-specific immunomodulation of abscisic acid activity induces a developmental switch. *EMBO J.*, 16, pp. 4489-4496.
22. Rock, C.D., Sakata, Y. & Quatrano, R.S. (2010). Stress signaling: the role of abscisic acid (ABA)/Abiotic Stress Adaptation in Plants. Eds. A. Pareek, S.A. Sopory, H.J. Bohner. Dordrecht. Springer, pp. 33-73.
23. Schmitz, K. (2006). Dinkel — ein Getreide mit Zukunft. Backmittelinstitut aktuell Sonderausgabe, pp. 1-8.
24. Taiz, L. & Zeiger, E. (2002). Abscisic acid: A seed maturation and antistress signal. *Plant physiology*. 3rd edn. L. Taiz, E. Zeiger. Sunderland: Sinauer Associates, pp. 539-558.
25. Takahashi, K. (1972). Abscisic acid as a stimulator for rice mesocotyl growth. *Nat. New Biol.*, 238, pp. 92-93.
26. Vishwakarmam, K., Upadhyay, N., Kumar, N., Yadav, G., Singh, J., Mishra, R., Kumar, Vivek, Verma, R., Upadhyay, R.G., Pandey, M. & Sharma, S. (2017). Abscisic

- acid signaling and abiotic stress tolerance in plants: a review on current knowledge and future prospects. *Frontiers in Plant Sci.*, 8, pp. 161-173.
27. Wilkinson, S. & Davies, W.J. (2002). ABA-Based chemical signalling: the Co-ordination of responses to stress in plants. *Plant Cell Environ.*, 25, No. 1, pp. 195-210.

Received 17.01.2019

ВЛИЯНИЕ ЭКЗОГЕННОЙ АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТЫ НА ПРОРАСТАНИЕ ЗЕРНОВОК И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ РОДСТВЕННЫХ ВИДОВ ПШЕНИЦ *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 выявлен тормозящий эффект экзогенной абсцизовой кислоты (АБК) на прорастание зерновок родственных видов пшениц *Triticum aestivum* L. и *Triticum spelta* L. Гормон в концентрации 10^{-5} и 10^{-6} М существенно тормозил прорастание зерновок озимой пшеницы сорта Подолянка. Через 24 ч количество зерновок с четко выраженным зародышевым корнем и защищенной колеоптилем плюмулой у опытных растений было в два раза меньше, чем у контрольных. При инкубации на 10^{-7} М растворе АБК количество проросших зерновок приближалось к контрольному показателю и составляло 48 %. Всхожесть зерновок пленчатого вида *T. spelta* сорта Франкенкорн, который рассматривается, как один из вероятных диких предшественников мягкой пшеницы, оказалась выше. Наличие шелухи положительно влияло на прорастание зерновок. Через 24 ч количество зерновок с четко выраженным зародышевым корнем и защищенной колеоптилем плюмулой находилось в пределах 65–81 %, а тормозящий эффект наблюдался после инкубации на 10^{-5} М растворе АБК. Выявлены неспецифические и специфические изменения морфометрических показателей проростков *T. spelta* и *T. aestivum*, вызванные действием экзогенной АБК. Так, изменение длины органов надземной части и корней зафиксировано для обоих видов пшениц при выращивании зерновок на растворах всех концентраций АБК. Однако рост и развитие проростков *T. spelta* при инкубации зерновок на растворах АБК на вторые и третьи сутки угнетались, тогда как *T. aestivum* — усиливались. Изменения морфометрических показателей проростков обоих видов пшениц при инкубации зерновок на 10^{-6} М растворе АБК приближались к контрольным. Существенно отличались виды пшениц по накоплению массы проростков: у озимой пшеницы она увеличивалась при инкубации на 10^{-6} и 10^{-7} М растворах АБК, тогда как у спельты — частично уменьшалась. Наибольший тормозящий эффект наблюдался через 72 ч инкубации на 10^{-5} М растворе АБК. Обсуждена возможность применения экзогенной АБК для праймирования зерновок с целью повышения их стрессостойкости.

Ключевые слова: *Triticum aestivum*, *Triticum spelta*, абсцизовая кислота, морфометрия, устойчивость.

EFFECTS OF EXOGENOUS ABSCISIC ACID ON SEED GERMINATION AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF TWO RELATED WHEATS *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: irykosakivska@gmail.com

The inhibitory effect of exogenous abscisic acid (ABA) on seed germination of related species *Triticum aestivum* L. and *Triticum spelta* L. was detected in laboratory conditions. ABA at

concentration of 10^{-5} and 10^{-6} M significantly retarded the germination of grains of the winter wheat cv. Podolyanka. The number of grains with a clearly pronounced germinal root and a coleoptile-protected plume after 24 hours in the experimental plants was two times less than in the control. When incubated on a 10^{-7} M solution of ABA, the number of germinated grains approached the control. It was shown that germination of *T. spelta* cv. Frankenkorn seeds, which is considered as one of the probable wild precursors of soft wheat, was higher. The presence of hull positively influenced the germination of grain. After 24 hours, the number of grains with a clearly defined germinal root and coleoptile-protected plume was in the range of 65–81 %. The largest inhibitory effect was shown by ABA at a concentration of 10^{-5} M. Nonspecific and specific changes in the morphological characteristics of *T. spelta* and *T. aestivum* seedlings, caused by the action of exogenous ABA, were revealed. Thus, a change in the length of the leaves and roots was recorded for both types of wheat, but, the growth and development of *T. spelta* seedlings under incubation of grains on ABA solutions for the second and third days was suppressed, whereas *T. aestivum* intensified. Changes in the morphological parameters of seedlings of both types of wheat under incubation of grains on the 10^{-6} M solution of ABA were closer to control. A significant difference was observed between the winter wheat and spelt seedlings fresh weight, which in winter wheat increased during incubation at 10^{-6} and 10^{-7} M solutions of ABA, while in spelt seedlings was observed inhibition in accumulation of fresh weight. The greatest inhibitory effect was observed after 72 hours of incubation at 10^{-5} M solution of ABA. The possibility of exogenous ABA using for seeds priming in order to increase their stress resistance is discussed.

Key words: *Triticum aestivum*, *Triticum spelta*, abscisic acid, morphometry, resistance.