

УДК 58.036:577.175.1:582.542.1

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ СТРЕСІВ НА ВМІСТ ЦИТОКІНІНІВ У ПРОРОСТКАХ *TRITICUM AESTIVUM* L. СОРТУ ЯТРАНЬ 60

І.В. КОСАКІВСЬКА, Л.В. ВОЙТЕНКО, Р.В. ЛІХНЬОВСЬКИЙ, А.Ю. УСТІНОВА

*Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного Національної академії наук України
01601 Київ, вул. Терещенківська, 2
e-mail: phytohormonology@ukr.net*

Досліджено вплив температурного режиму на склад і вміст цитокінінів (ЦК) у кореневій та надземній частинах 7- й 14-добових проростків *Triticum aestivum* L. жаростійкого сорту Ятрань 60. Встановлено, що короткотривалі тепловий (+40 °С, 2 год) і холододовий (+4 °С, 2 год) температурні стреси зумовлюють специфічні зміни акумуляції й спектра ізоформ ЦК, які залежать як від органа проростка та його віку, так і від виду стресу. На ранній «стадії тривоги» відбувався перерозподіл активних ізоформ ЦК між коренями і надземною частиною. Доведено, що в жаростійкого сорту Ятрань 60 після теплового стресу в надземній частині проростків збільшується вміст ЦК ізопентеніладенінового типу, які пов'язані із синтезом білків фотосинтетичного апарату. Виявлені зміни вмісту ЦК після дії температурних стресів опосередковано вказують на антагонізм з АБК при формуванні реакції-відповіді.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., цитокініни, температурні стреси.

Як організми, котрі не можуть самостійно пересуватися, рослини на численні зовнішні подразнення відповідають пристосувальними змінами у процесах росту і розвитку [31]. Реакції на коливання температури, посуху чи надмірну вологість, дисбаланс поживних речовин, умови освітлення тощо формуються за участю фітогормонів, які здатні діяти як у місці синтезу (локально), так і в іншому місці рослини (дистанційно). У сукупності фітогормони регулюють усі аспекти росту і розвитку рослин. На сьогодні виділяють п'ять класичних фітогормонів: абсцизову кислоту (АБК), етилен, цитокініни, ауксини, гібереліни; до регуляторів також відносять жасмонати, брасиностероїди, саліцилову кислоту, оксид азоту, стріголактон і, цілком ймовірно, що з часом будуть відкриті нові сполуки з ознаками гормонів [26]. До класу цитокінінів належать поліфункціональні фітогормони, які впливають на широкий спектр фізіологічних процесів. Головна їх функція полягає в індукції поділу клітин. Разом із цим вони беруть участь у регуляції транспорту метаболітів, диференціюванні хлоропластів, індукують морфогенез стебла, затримують процеси старіння [30]. ЦК синтезуються в коренях і листках, транспортуються по ксилемі й флоемі, створюють певний градієнт концентрації уздовж вертикальної осі рослини [8]. Проте головними сайтами синтезу ЦК є апікальні меристеми кореня [12]. Транспорт із кореня в пагін відбувається по ксилемі разом із транспіраційним потоком, при цьому ЦК задіяні як у локальному, так і

віддаленому сигналінгу [12, 21, 22]. Виділяють ЦК зеатинового типу, до яких серед інших належать *транс*- і *цис*-зеатин (З), зеатинрибозид (ЗР), зеатин-О-глюкозид (ЗГ), та ізопентенільного типу — ізопентеніладенін (ІП), ізопентеніладенозин (ІПА) [21]. ЦК З-типу переважають у ксилемі, ІП-типу — у флоемі. З й ІП разом зі своїми рибозидами належать до активних ізоформ ЦК, що переважають за вмістом [21, 22]. Встановлено, що за стресорних впливів відбуваються зміни вмісту і складу ЦК. Так, у коренях кукурудзи під дією NaCl вміст ЗР істотно збільшувався, а зеатину — зменшувався, в той час як у рослин гороху підвищувався вміст ЦК і ІП-типу [14]. У листках томатів у разі засолення на тлі сумарного зниження концентрації ЦК найбільш виразною була зміна рівня ЗР [11]. У рослинах галофіту *Mesembryanthemum crystallinum* L. переважали ЦК З-типу, представлені З, ЗР і ЗГ у листках і З, ЗР — у коренях. На сольовий стрес рослини реагували зниженням вмісту З і ЗР у коренях і листках, а також накопиченням ЗГ у кореневій системі та ІПА й ІП — у листках [1]. Екстремальні температури є одним із найпоширеніших природних стресорів, які провокують порушення водного режиму, сповільнюють ріст, знижують продуктивність. Якщо сигнальна роль абсцизової кислоти за абіотичних стресів добре відома і не викликає сумнівів [19], то участь цитокінінів у формуванні адаптаційного синдрому досліджена мало. В попередніх наших роботах проаналізовано вплив температурного режиму на характер накопичення вільної і кон'югованої форм АБК, індоліл-3-оцтової кислоти (ІОК) у проростках жаростійкого сорту *Triticum aestivum* L. Ятрань 60 [4, 5].

Оскільки ЦК належить ключова роль у регуляції процесів росту, мета нашої роботи полягала у визначенні впливу короткотривалих теплового і холодного стресів на вміст цитокінінів у проростках пшениці жаростійкого сорту Ятрань 60. Ми виходили з припущення, що специфічні зміни складу і вмісту ізоформ ендогенних ЦК у коренях та надземній частині проростків під дією гіпер- і гіпотермії певною мірою корелюють із термостійкістю і в подальшому можуть слугувати маркерами під час скринінгу й створення стійких сортів озимої пшениці, а також у біотехнологічних дослідженнях із використання гормонів для поліпшення стресостійкості рослин.

Методика

Сорт Ятрань 60 (*Triticum aestivum* L.) належить до короткостеблових середньоранніх сортів інтенсивного типу. Стандарт для зони Лісостепу й Полісся. Рекомендований для вирощування також у Степовій зоні України. Стійкий до вилягання, жаро- і посухостійкий. Морозостійкість вища від середньої й добра [7].

Відкаліброване насіння перед посівом стерилізували в три етапи: упродовж 3 хв у розчині перманганату калію (насиченого кольору); впродовж 2 хв в етанолі (96 %); впродовж 1 хв в розчині нітрату срібла (0,1 %-му). Після кожного етапу насіння промивали в стерильній дистильованій воді. Стерилізоване насіння переносили в чашки Петрі на зволожений фільтрувальний папір і залишали на одну добу при температурі +24 °С за освітлення 110 мкмоль/(м² · с). Фотоперіод становив 16 : 8. Через 24 год за відсутності візуальних ознак зараження плісневими грибами проростки пшениці пересаджували в горщики на мінеральний субстрат фірми «Grodan». Умови температурного режиму та

освітлення при цьому не змінювались. Щоденно в мінеральний субстрат вносили по 100 мл дистильованої води. Для вивчення впливу змін температурного режиму 7- і 14-добові проростки піддавали короткотривалий (упродовж 2 год) дії температур +40 і +4 °С. Перехресний стрес створювали комбінуванням дії короткотривалого теплового стресу на 14-добові проростки, які у віці 7 діб зазнали дії короткотривалого холодного стресу. Для подальшого визначення вмісту ЦК надземну частину й корені проростків (контрольні та після стресу) зважували на електронних вагах OHAUS Adventurer (Китай) по 30 мг у трьох повтореннях і заморожували в дипфрізері Jouan VX100 (Чехія) за температури -82 °С.

Зразки екстрагували охолодженим 80 %-м етанолом з додаванням 1–2 крапель антиоксиданту (0,02 %-го діетилдитіокарбамату натрію). Спиртові екстракти випарювали до отримання водного залишку й проморожували. До аліквоти розмороженого водного залишку доливали розчин 2 н HCl до рН 3,0 і центрифугували впродовж 30 хв за 15 000 g на центрифугі K-24 фірми «Janetski» (ФРН). ЦК екстрагували з надосадової рідини за допомогою водонасиченого бутанолу у співвідношенні 1 : 1 за рН 8,0. Об'єднані бутанольні екстракти випарювали досуха на вакуумному ротаційному випарювачі типу 350 р (ПНР) за температури +60 °С, після чого проморожували. Фракції фітогормонів додатково очищували методом іонообмінної хроматографії на колонках DOWEX 50Wx8 у H⁺-формі 0,1 н розчином аміаку з наступним доочищенням методом тонкошарової хроматографії на пластинах Silufol 60 F₂₅₄ фірми «Merck» (ФРН) у системі розчинників *n*-бутанол : аміак : вода (86 : 5 : 9). Зони хроматограм, які відповідали R_f стандартів зеатину, зеатинрибозиду, ізопентеніладеніну й ізопентеніладенозину, елюювали етанолом, після чого випарювали досуха за температури не вище ніж +40 °С [6].

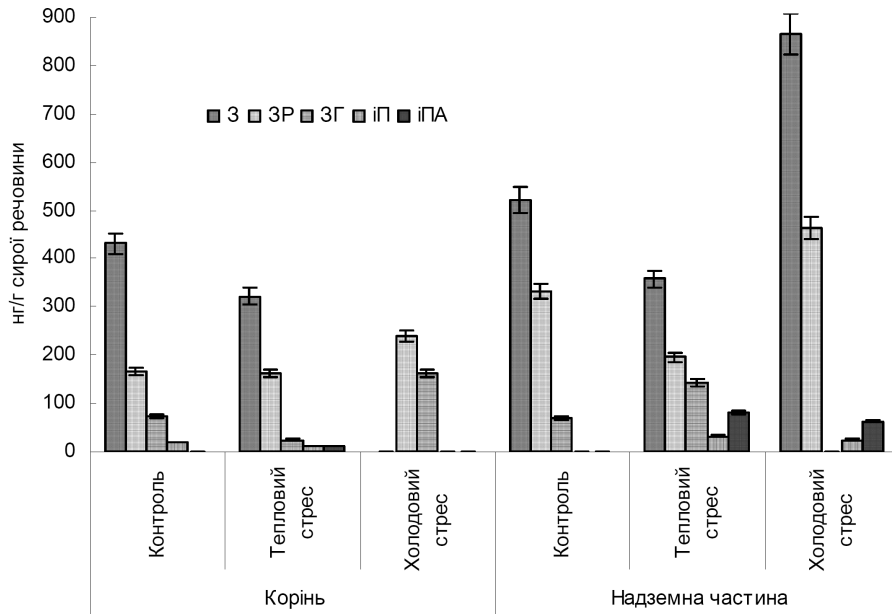
Ізоформи ЦК визначали аналітично методом високоефективної рідинної хроматографії на рідинному хроматографі Agilent 1200 LC з діодно-матричним детектором G 1315 B (США) на колонці Eclipse XDB-C 18 із параметрами 4,6 × 250 мм й розміром часточок завантаження 5 мкм. Ізоформи ЦК елюювали за аналітичної довжини хвилі детекції 269 нм зі швидкістю рухливої фази 0,5 моль/хв в системі розчинників метанол : вода : оцтова кислота (37 : 62,5 : 0,5). Для ідентифікації ЦК використовували немічені *цис*-, *транс*-зеатин, ЗР, ІП, ІПА фірми «Sigma» (США) і стандартний додатковий метод кількісного визначення. Хроматограми обчислювали за допомогою програмного забезпечення Chem Station (версія В.03.01).

Досліди проводили в трьох біологічних і п'яти аналітичних повтореннях. Цифровий матеріал оброблено статистично за допомогою програм MS Excel 2002 й Origin 6.0. Вірогідність різниці оцінено за критерієм Стьюдента з використанням рівня значущості 5 % ($P \leq 0,05$).

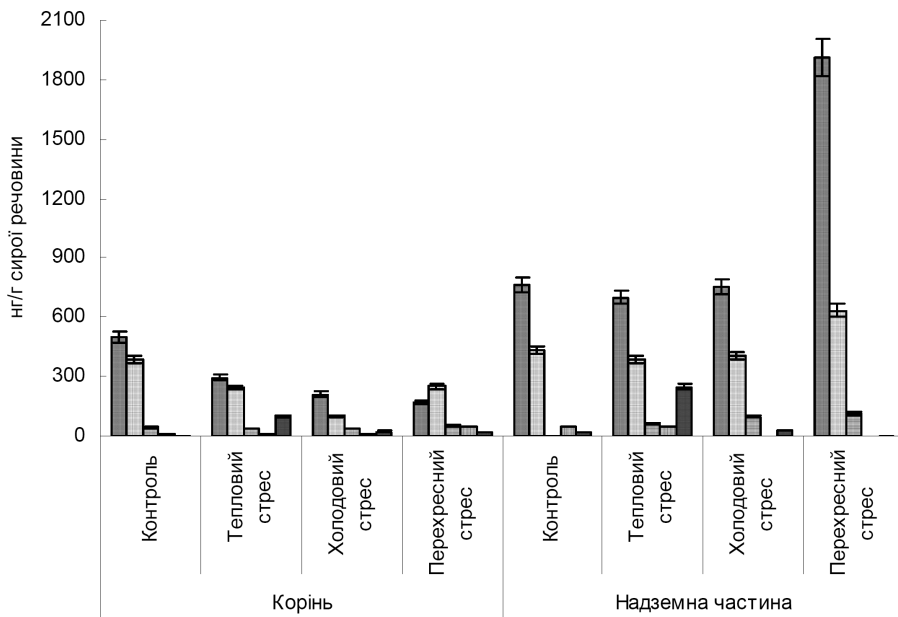
Результати та обговорення

Ми встановили, що за контрольних умов у 7-добових проростків пшениці як у коренях, так і в надземній частині переважали вільні форми ЦК З-типу (рисунок, *a*), що характерно для стадії активного росту рослин [30]. Після короткотривалого холодного стресу в коренях 7-добових проростків сумарний вміст ЦК зменшувався, З, ІП, ІПА не

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ СТРЕССОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ЦИТОКИНИНОВ



а



б

Вплив короткотривалих температурних стресів на вміст цитокінінів у 7-добових (а) і 14-добових (б) проростках *Triticum aestivum* L. сорту Ятрань 60:

З — зеатин; ЗР — зеатинрибозид; ЗГ — зеатинглюкозид; ІП — ізопентеніладенін; ІПА — ізопентеніладенозин

виявлялись і водночас збільшувався вміст ЗР і кон'югованої форми — ЗГ. У працях інших дослідників повідомлялось про зменшення сумарного вмісту ендогенних цитокінінів після холодного стресу в коренях озимої пшениці [3, 25] і молочаю *Euphorbia pulcherrima* L. [20]. Після короткотривалого теплового стресу склад ендогенних ЦК у

коренях зберігався, проте зменшувався вміст окремих ізоформ, зокрема ЗР, ЗГ, і з'являвся ІПА (див. рисунок, а).

Ми виявили, що в надземній частині 7-добових проростків пшениці сорту Ятрань 60 після холодового стресу істотно збільшувався вміст З (в 1,6 раза), ЗР (в 1,4 раза), а також утворювались ЦК ІП-типу (див. рисунок, а). Натомість після теплового стресу значно зменшувався вміст З і ЗР, істотно зростав рівень ЗГ, з'являлись ІП й ІПА (див. рисунок, а). У працях інших дослідників зазначено, що в проростках пшениці під впливом високої температури вміст ендогенних ЦК зменшувався [2, 17]. Фархутдінов та співавт. також виявили, що висока температура викликала протилежні зміни у вмісті ендогенних ЦК й АБК у проростках пшениці [9, 29]. Синергізм чи антагонізм у взаємодії гормонів, взаємна координація біосинтезу відіграють важливу роль в адаптації рослин до абіотичних стресів [26]. ЦК вважають антагоністом АБК. Так, водний дефіцит призводить до зниження рівня ЦК на тлі зростання вмісту АБК [16]. В *Arabidopsis thaliana* виявлено численні гени, які кодують білки, задіяні в передачі ЦК сигналу за дії різних абіотичних стресів [13]. Вважають, що протекторний ефект АБК за сольового стресу може бути реалізований через регуляцію метаболізму ЦК [10]. У попередніх дослідженнях ми довели, що низька температура спричинює мобілізацію вільної АБК у коренях 7-добових проростків пшениці сорту Ятрань 60, тоді як дія високої температури супроводжується збільшенням кількості вільної АБК в надземній частині [5]. Підвищення вмісту АБК після стресів є показником активування захисних процесів, а накопичення ЦК вказує на посилення метаболічних процесів. Отже, зафіксовані нами зміни вмісту і складу ЦК після дії температурних стресів спрямовані протилежно відносно змін у накопиченні АБК й опосередковано вказують на антагонізм між цими фітогормонами за стресорних температурних впливів.

У 14-добових проростках порівняно із 7-добовими вміст ендогенних ЦК збільшувався як у коренях, так і в надземній частині. Вміст ЦК підвищувався за рахунок активних форм — З і ЗР, вміст ЗГ — кон'югованої форми — в коренях зменшувався майже вдвічі, а в надземній частині його не було зовсім. Натомість у надземній частині накопичувались ЦК ІП-типу, зокрема ІП, тоді як у коренях, навпаки, вміст ЦК ІП-типу зменшувався, а ІПА був відсутній (див. рисунок, б). Функціональна активність ЦК переважно пов'язана з посиленням росту [15]. Отже, за контрольних умов ростові процеси супроводжувались інтенсивним накопиченням ендогенних ЦК, причому виразніше це відбувалось у надземній асиміляційній частині.

Ми встановили, що після теплового стресу вміст ЦК З-типу в коренях проростків пшениці зменшувався з 927 до 571,8 нг/г сирової речовини, а в надземній її частині практично не змінювався. Водночас як у коренях, так і в надземній частині накопичувались значні кількості ІПА. Після холодового стресу вміст ЦК З-типу в коренях проростків зменшувався із 927 до 349,5 нг/г сирової речовини, а в надземній частині зростав. Найвиразніші зміни вмісту ЦК зафіксовано після комбінованого стресу. В надземній частині проростків пшениці значно збільшувались кількості З, ЗР, ЗГ і зменшувався вміст ЦК ІП-типу, тоді як у коренях, навпаки, кількість ЦК З-типу зменшувалась, а рівні ІП й ІПА істотно зростали (див. рисунок, б).

Встановлено, що головним сайтом синтезу *транс*-зеатину є корені, *транс*-зеатинрибозид виконує роль акропетального сигналіngu від кореня до пагона, а флоемині цитокиніни (ІП-типу й *цис*-зеатин), ймовірно, можуть функціонувати як базипетальний сигнал [21]. Зафіксовані нами зміни складу і вмісту ЦК вказують на участь фітогормонів цього класу в індукованих температурними стресами реакціях. У працях інших дослідників показано, що холодний стрес пришвидшує експресію генів-регуляторів відповіді на цитокиніни [24]. Надекспресія цих генів підвищувала стійкість проростків арабідопсису до вимерзання [28], а рослини з репресованими генами сигналіngu цитокинінів демонстрували гіперчутливість до АБК на холоді, що також збільшувало їх холодостійкість [23]. Оскільки корені є головним місцем синтезу *транс*-зеатину, а *транс*-зеатинрибозид задіяний в акропетальному сигналіngu від кореня до надземної частини [21], логічно стверджувати, що отримані нами результати доводять участь ЦК 3-типу — 3 і 3Р — у передачі сигналу від коренів до пагонів проростків озимої пшениці у відповідь на температурні стреси.

Нещодавно встановлено, що експресія гена ізопентеніл-трансферази (ІПТ), який кодує ключову ланку в біосинтезі ЦК у рослинах тютюну і рису, позитивно впливає на біосинтез білків, задіяних у фотосинтезі [27]. У трансгенних рослин *Solanum lycopersicum*, які характеризувались експресією ІПТ, у коренях інтенсивно синтезувались ЦК, що змінювало гормональний баланс за сольового стресу [18]. Отже, ми встановили, що у рослин пшениці жаростійкого сорту Ятрань 60 підвищується в надземній частині проростків після теплового стресу вміст ЦК ІП-типу, які можуть бути задіяні у забезпеченні функціонування білків фотосинтетичного апарату.

Таким чином, тепловий і холодний стреси спричинювали специфічні зміни акумуляції й спектра ізоформ ЦК, які залежали як від органа проростка та його віку, так і від виду стресу. Температурні стреси на ранній «стадії тривоги» супроводжувались перерозподілом активних ізоформ ЦК між коренями й надземною частиною. Зміни вмісту ЦК після дії температурних стресів опосередковано вказують на антагонізм з АБК при формуванні реакції-відповіді.

Автори щиро вдячні академіку НАН України В.В. Моргуну за наукове обговорення, надання насінневого матеріалу сортів озимої пшениці для проведення фізіолого-біохімічних досліджень і консультації щодо їх біологічних особливостей, а також кандидату біологічних наук Н.П. Веденичовій за наукову дискусію при інтерпретації отриманих результатів.

1. Веденечева Н.П., Войтенко Л.В., Мусатенко Л.И. и др. Влияние засоления на содержание фитогормонов в листьях *Mesembryanthemum crystallinum* L. // Вісн. Харків. аграр. ун-ту. — 2010. — Вип. 3 (21). — С. 30—36.
2. Веселов А.П., Лобов В.П., Олюнина Л.Н. Изменение в содержании фитогормонов в ответной реакции растений при тепловом шоке и в период его последствий // Физиология растений. — 1998. — 45, № 6. — С. 709—715.
3. Веселов Д.С., Сабиржанова И., Ахиярова Г. Роль гормонов в быстром ростом ответе растений пшеницы на осмотический и холодный шок // Там же. — 2002. — 49, № 4. — С. 572—576.
4. Косаковская И.В., Войтенко Л.В., Лихневский Р.В., Устинова А.Ю. Влияние гипо- и гипертермии на содержание свободной и конъюгированной индолил-3-уксусной кислоты в проростках *Triticum aestivum* L. // Вісн. Харків. нац. аграр. ун-ту. — 2014. — 2 (32). — С. 32—37.

5. Косаківська І.В., Войтенко Л.В., Устінова А.Ю., Ліхнівський Р.В. Вплив температурного режиму на вміст абсцизової кислоти в проростках *Triticum aestivum* L. сорту Ятрань 60 // Физиология растений и генетика. — 2014. — 46, № 5. — С. 420—427.
6. Методические рекомендации по определению фитогормонов. — Киев: Наук. думка, 1988. — 78 с.
7. Моргун В.В., Санін Є.В., Швартау В.В. Клуб 100 центнерів. — К.: Логос, 2008. — 87 с.
8. Романов Г.А. Как цитокинины действуют на клетку // Физиология растений. — 2009. — 56, № 2. — С. 295—319.
9. Фархутдинов Р.Г., Теплова И.Р., Митриченко А.Н. и др. Влияние высокой температуры воздуха на содержание абсцизової кислоти и цитокининов и водный обмен проростков пшеницы // Изв. РАН. Сер. биологич. — 2003. — № 2. — С. 195—200.
10. Шевякова Н.И., Мусатенко Л.И., Стеценко Л.А., Ракитин В.Ю. Влияние АБК на содержание пролина, полиаминов и цитокининов в растениях хрустальной травки при солевом стрессе // Физиология растений. — 2013. — 60, № 6. — С. 784—792.
11. Albacete A., Ghanem M.E., Martinez-Andujar C. et al. Hormonal changes in relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants // J. Exp. Bot. — 2008. — 59. — P. 4119—4131.
12. Aloni R., Langhans M., Aloni E. et al. Root-synthesized cytokinin in Arabidopsis is distributed in the shoot by the transpiration stream // Ibid. — 2005. — 56. — P. 1535—1544.
13. Argueso C.T., Ferreira F.J., Kieber J.J. Environmental perception avenues: the interaction of cytokinin and environmental response pathways // Plant Cell Environ. — 2009. — 32. — P. 1147—1160.
14. Atanasova L., Pissurska M., Stoyanov I. Cytokinins and growth responses of maize and pea plants to salt stress // Bulg. J. Plant Physiol. — 1996. — 22. — P. 22—31.
15. Davies P.J. Regulatory factors in hormone action: Level, location and signal transduction // Plant Hormones. Biosynthesis, Signal Transduction, Action / Ed. P.J. Davies. Dordrecht: Kluwer, 2004. — P. 15—35.
16. Dodd I.C. Hormonal interactions and stomatal responses // J. Plant Growth Regul. — 2003. — 22. — P. 32—46.
17. Farkhutdinov R.G., Kudoyarova G.R., Veselov S.U., Valke R. Influence of temperature increase on evapotranspiration rate and cytokinin content in wheat seedlings // Biol. Plant. — 1997. — 39, N 2. — P. 289—291.
18. Ghanem M.E., Albacete A., Smigocki A.C. et al. Root-synthesized cytokinins improve shoot growth and fruit yield in salinized tomato // J. Exp. Bot. — 2011. — 62. — P. 125—140.
19. Gusta L.V., Trischuk R., Weiser C.J. Plant cold acclimation: The role of abscisic acid // J. Plant Growth Regul. — 2005. — 24. — P. 308—318.
20. Hanny N., Dorfling K. Effects of chilling on physiological responses and changes in hormone levels in two *Euphorbia pulcherrima* varieties with different chilling tolerance // J. Plant. Physiol. — 1991. — 138. — P. 734—740.
21. Hirose N., Takei K., Kuroha T. et al. Regulation of cytokinin biosynthesis, compartmentalization and translocation // J. Exp. Bot. — 2008. — 59. — P. 75—83.
22. Hwang I., Sakakibara H. Cytokinin Biosynthesis and Perception // Physiol. Plant. — 2006. — 126. — P. 528—538.
23. Jeon J., Kim J. Arabidopsis response Regulator 1 and Arabidopsis histidine phosphotransfer Protein 2 (AHP2), AHP3 and AHP5 function in cold signaling // Plant Physiol. — 2013. — 161. — P. 408—424.
24. Jeon J., Kim N.Y., Kim S. et al. A subset of cytokinin two-component signaling system plays a role in cold temperature stress response in Arabidopsis // J. Biol. Chem. — 2010. — 285. — P. 23371—23386.
25. Kudoyarova G.R., Farhutdinov R.G., Mitrichenko A.N. Fast changes in growth rate and cytokinin content of the shoot following rapid cooling of roots of wheat seedling // Plant Growth Regul. — 1998. — 26. — P. 105—108.
26. Peleg Z., Blumwald E. Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants // Curr. Opin Plant Biol. — 2011. — 14. — P. 290—295.
27. Rivero R.M., Gimeno J., Van Deynze A. Enhanced cytokinin synthesis in tobacco plants expressing PSARK<IPT prevents the degradation of photosynthetic protein complexes during drought // Plant Cell Physiol. — 2010. — 51. — P. 1929—1941.
28. Shi Y., Tian S., Hou L. et al. Ethylene signaling negatively regulates freezing tolerance by repressing expression of CBF and type-A ARR genes in Arabidopsis // Plant Cell. — 2012. — 24. — P. 2578—2595.
29. Veselov A., Lobov V., Oljunina L. Role of phytohormones in the regulation of plant response to a heat shock // Biologija. — 1998. — N 3. — P. 65—68.
30. Werner T., Schmulling T. Cytokinin action in plant development // Curr. Opin. Plant Biol. — 2009. — 12. — P. 527—538.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ СТРЕССОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ЦИТОКИНИНОВ

31. *Wolters H., Jurgens G.* Survival of the flexible: hormonal growth control and adaptation in plant development // *Nature Rev. Genet.* — 2009. — **10**. — P. 305–317.

Отримано 17.04.2015

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ СТРЕССОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ЦИТОКИНИНОВ В ПРОРОСТКАХ *TRITICUM AESTIVUM* L. СОРТА ЯТРАНЬ 60

И.В. Косаковская, Л.В. Войтенко, Р.В. Лихневский, А.Ю. Устинова

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

Исследовано влияние температурного режима на состав и содержание цитокининов (ЦК) в корневой и надземной частях 7- и 14-суточных проростков *Triticum aestivum* L. жаростойкого сорта Ятрань 60. Установлено, что краткосрочные тепловой (+40 °С, 2 ч) и холодовой (+4 °С, 2 ч) температурные стрессы обуславливают специфические изменения аккумуляции и спектра изоформ ЦК, которые зависят как от органа проростка и его возраста, так и от вида стресса. На ранней «стадии тревоги» осуществлялось перераспределение активных изоформ ЦК между корнями и надземной частью. Доказано, что у жаростойкого сорта Ятрань 60 после теплового стресса в надземной части проростков увеличивается содержание ЦК изопентениладенинового типа, которые связаны с синтезом белков фотосинтетического аппарата. Обнаруженные изменения содержания ЦК после действия температурных стрессов опосредованно указывают на антагонизм с АБК при формировании реакции-ответа.

INFLUENCE OF TEMPERATURE STRESSES ON CYTOKININ CONTENT IN *TRITICUM AESTIVUM* L. SEEDLINGS VARIETY YATRAN 60

I.V. Kosakivska, L.V. Voytenko, R.V. Likhnyovskiy, A.Y. Ustinova

M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine
2 Tereshchenkivska St., Kyiv, 01601, Ukraine

The effect of short-term heat (2 h, +40 °C), cold (2 h, +2 °C) and combined temperature stresses on the level of cytokinin (CK) in roots and leaves of 7- and 14-day-old seedlings of *Triticum aestivum* L. variety Yatran 60 was investigated. It was shown that in the early stages of growth (7 days) after exposure to low positive temperature the total content of cytokinins in roots decreased, while in shoots the level of zeatin (Z) increased 1.6 times, zeatinriboside (ZR) in 1.4 times and appeared izopentenile forms of CK. Zeatine, izopenteniladenin (IP) and izopenteniladenozin (IPA) were not identified in the roots. The content of all CK isoforms in the roots decreased after heat except the IPA. In the shoots the content of Z and ZR decreased and the level of zeatin-O-glucoside (ZG), IP and IPA increased. The level of active CK isoforms in 14-day-old seedlings under control conditions increased. After cold stress the total content of Z, ZR and ZG in the roots decreased from 927 to 349.5, and in the shoots increased to 110.7 ng/g of fresh mass. After heat stress the total content of zeatin, ZR and ZG in the roots decreased from 927 to 571.8 ng/g, whereas in the shoots did not changed. In the roots, and especially in the shoots actively accumulated IPA. After the combined stress in the shoots the content of Z, ZR and ZG significantly increased and the level of IP and IPA decreased, whereas in the roots, on the contrary, the content of the Z, ZR and ZG decreased and the level of IP and IPA significantly increased.

Key words: *Triticum aestivum* L., cytokinins, temperature stress.