

УДК 581.1:581.5:633.15

## **ЗМІНИ ПРО-/АНТИОКСИДАНТНОЇ РІВНОВАГИ У ПРОРОСТКІВ КУКУРУДЗИ ЗА РІЗНОГО РІВНЯ НАКОПИЧЕННЯ КАДМІЮ ТА НІКЕЛЮ**

© 2008 р. Т. А. Демура, В. М. Гришко

*Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України  
(Кривий Ріг, Україна)*

Досліджені особливості акумуляції вегетативними органами 10-добових проростків кукурудзи кадмію та нікелю за комбінованого їх впливу. Названі метали найбільш інтенсивно поглиналися коренями проростків в перші 7 год стресового впливу, тоді як в листках вони виявлялися лише після 7 год експозиції. Показано, що процес поглинання металів кореневою системою має двофазний характер. Розраховані індекси внутрішньотканинного забруднення. Продемонстрована активація іонами кадмію і нікелю пероксидного окиснення ліпідів як маркера стресового впливу, а також відповідне підвищення активності аскорбатпероксидази, як ферменту антиоксидантного захисту.

**Ключові слова:** *Zea mays L., кадмій, нікель, стрес, пероксидне окиснення ліпідів, аскорбатпероксидаза*

У розвитку загального адаптаційного синдрому організмів за дії надлишкових кількостей важких металів однією з ранніх неспецифічних реакцій є активація процесів пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ), що призводить до перебудови метаболізму рослин як на рівні клітин, так і всього організму [2, 9, 19]. Згідно з гіпотезою В.А. Барабоє [1], зміщення про-/антиоксидантної рівноваги в напрямі активації ПОЛ є сигналом запуску стрес-реакції. Відомо, що за несприятливих умов і, зокрема, під впливом іонів нікелю [17], марганцю [18], свинцю [8], міді [14], кадмію [9], а також фтору [2] спостерігається активація процесів ПОЛ, про що свідчить підвищення вмісту малонового діальдегіду (МДА).

Необхідною умовою для підтримання гомеостазу клітини є збалансованість між пероксидним окисненням, з одного боку, та антиоксидантною активністю, з іншого. Тому для переривання каскадів неконтрольованого окиснення в усіх компартаментах функціонують антиоксиданти і антиоксидантні ферментні системи. Ключову роль серед них в хлоропластах

та цитозолі вищих рослин відіграє аскорбатпероксидаза (КФ 1.11.1.11), яка належить до гемпероксидаз і каталізує нейтралізацію пероксиду водню. Різні стресові фактори неоднозначно впливають на активність ферменту. Дослідженнями А. Schutzendubel показано, що за дії кадмію активність ферменту в коренях сосни шотландської спочатку підвищувалась, а після 24-годинної експозиції знижувалась [19]. В умовах аноксії, за дефіциту азоту і холодового стресу активність аскорбатпероксидази в листках гороху та пшениці значно підвищувалась [10, 15]. Поряд з цим, у кукурудзи за холодового стресу активність аскорбатпероксидази в листках різко знижується, що лімітує холодостійкість даного виду на ранніх стадіях онтогенетичного розвитку [13].

Наскільки порушуються функціонування про-/антиоксидантної системи у рослин за умов дії стресових чинників, зокрема, комплексного впливу важких металів мало відомо. Разом з цим, також не досліджені особливості накопичення кадмію та нікелю кореневою системою рослин за їх сумісної дії і подальший розподіл металів в системі "корінь-листок". У зв'язку з викладеним, метою нашої роботи було дослідження інтенсивності ПОЛ та функціонування антиоксидантних ферментів за умов комплексної дії кадмію та нікелю на рослинні організми.

---

*Адреса для кореспонденції:* Гришко Віталій Миколайович, відділ фізіології рослин і біології ґрунтів, Криворізький ботанічний сад НАН України, вул. Маршаків, 50, Кривий Ріг, Україна;  
e-mail: botgard@ukrtel.dp.ua

**МЕТОДИКА**

Об'єктами досліджень були проростки кукурудзи звичайної (*Zea mays* L.) гібриду Бліц 160 МВ, що вирощувались на дистильованій воді [11]. На 10 добу експерименту у середовище вирощування вносили важкі метали у вигляді суміші сульфатів в концентраціях 1ГДКCd +1ГДКNi, 1ГДКCd+10ГДКNi, 10ГДКCd+1ГДКNi та 10ГДКCd + 10ГДКNi (з розрахунку ГДК 3 мг/л Cd<sup>2+</sup> та 4 мг/л Ni<sup>2+</sup>). Зразки рослин відбирали через 1, 7, 12 та 24 год після внесення важких металів. Вміст кадмію і нікелю у рослинному матеріалі визначався на атомно-адсорбційному спектрофотометрі С-115 згідно із загальноприйнятими методами [3, 7]. Показники внутрішньотканинного забруднення для кожного з металів розраховували за В.Б. Ільїним:

$$\zeta = \frac{\text{вміст металу в тканині}}{\text{вміст металу в середовищі}} \cdot 100 \quad [4].$$

Інтенсивність розвитку ПОЛ оцінювали за вмістом тіобарбітурат-активних продуктів [5]. Активність аскорбатпероксидази визначали за Y. Nakano і K. Asada [16], концентрацію білка – за методом Ch.S. Greenberg [12].

**РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ**

Дослідження ступеня акумуляції важких металів коренями проростків кукурудзи при вирощуванні за дії кадмію та нікелю показали інтенсивне їх поглинання вже в першу годину стресового впливу. Так, при внесенні у середовище вирощування суміші токсикантів в низькій концентрації вміст іонів нікелю в тканинах коренів перевищував контрольні значення більш ніж на 70%, а кадмію майже втричі (таблиця). Поряд з цим, вплив суміші забруднювачів, коли хоча б один з елементів вносився у високій концентрації зумовлював більш інтенсивне накопичення токсикантів. Наприклад, при переважанні нікелю рівень акумуляції обох металів зростав удвічі порівняно з попереднім варіантом, тоді як експозиція проростків на середовищі, що містило 1 ГДК нікелю і 10 ГДК кадмію призводила до підвищення концентрації останнього в 9,6, а нікелю – в 3,3 раза порівняно з контролем. Розраховані індекси внутрішньотканинного забруднення також підтверджують отримані результати, які за низької концентрації для кадмію становили 2,98 і 5,82, а для нікелю – 1,73 та 3,29.

Одержані експериментальні дані дозволяють констатувати, що в умовах забруднення кадмієм і нікелем із збільшенням тривалості

стресового впливу до 7 год спостерігалось посилення накопичення токсикантів коренями проростків. Так, за сумісної дії металів у низьких концентраціях вміст кадмію перевищував контрольні значення в 5-7 разів, тоді як за високих концентрацій – в 10-15 разів. Разом з цим, істотної інтенсифікації поглинання нікелю тканинами коренів у варіантах дослідів з низькою концентрацією нікелю на 7 год стресового впливу порівняно з першою годиною вирощування не спостерігалось, про що свідчать значення індексів внутрішньотканинного забруднення – 1,9, 3,58 і 1,73, 3,29 відповідно. Однак за високої концентрації поглинання збільшувалося на 40-60% (таблиця).

Подальше подовження тривалості дії токсикантів до 12 год не викликало підвищення рівнів абсорбції металів кореневою системою проростків кукурудзи. На встановлений факт вказує відсутність статистично достовірної різниці відповідних значень вмісту обох політантів після 7 та 12 год експозиції на розчинах кадмію і нікелю та близькі значення показників внутрішньотканинного забруднення (З<sup>р</sup><sub>к</sub> для кадмію становили 5,4-15,3 та 5,3-14,6 на 7 і 12 год стресу відповідно, тоді як для нікелю ці показники коливалися в межах 1,9-8,1 і 2,0-7,5). Аналогічна вищенаведеної тенденція щодо уповільнення процесів поглинання токсикантів кореневою системою проростків кукурудзи простежується і з підвищенням тривалості інтоксикації до 24 год.

Таким чином, найбільш інтенсивна акумуляція металів коренями проростків була зафіксована на 7 год стресового впливу, після чого процес поглинання виходив на плато і наставала лінійна фаза, яка характеризувалася сталою невисокою швидкістю абсорбції.

При дослідженні процесів накопичення кадмію та нікелю у вегетативних органах проростків кукурудзи виявлено значно вищу акумуляцію металів в тканинах кореневої системи порівняно з листками. Вищенаведені ефекти, ймовірно, зумовлені функціонуванням захисних систем рослин, зокрема поясків Каспарі ендодерми кореня, які певною мірою перешкоджають надходженню забруднювачів в надземну частину рослин.

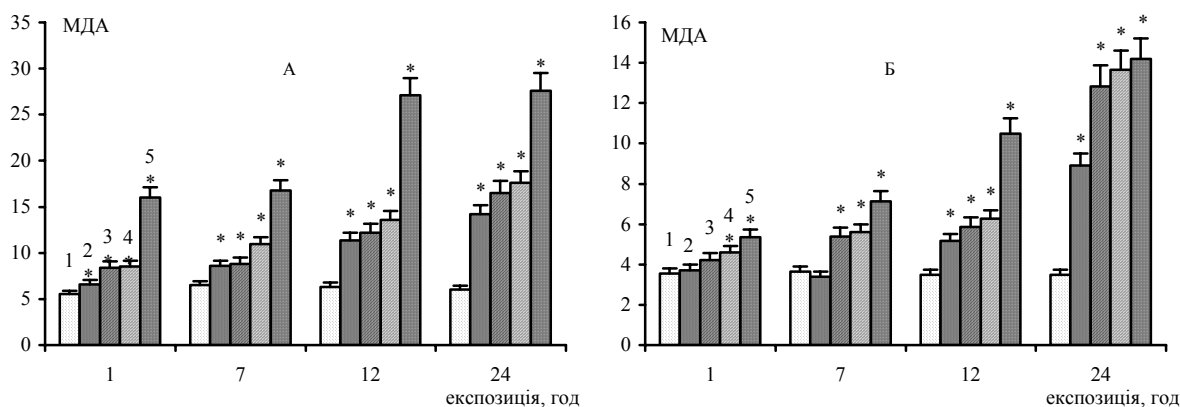
Представлені в таблиці дані дозволяють констатувати, що на початковому етапі стресової дії кадмію та нікелю (1 год після внесення металів) у варіанті дослідів, де вони вносились у низьких концентраціях їх вміст в листках не відрізнявся від контролю. Після 7-годинної

Вміст кадмію та нікелю у вегетативних органах 10-добових проростків кукурудзи, мкг/г сухої речовини

| Варіант           | Кадмій      |                             | Нікель        |                             | Кадмій       |                             | Нікель      |                             |
|-------------------|-------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|
|                   | Корені      |                             | Листки        |                             | Корені       |                             | Листки      |                             |
|                   | M±m         | З <sub>р</sub> <sub>к</sub> | M±m           | З <sub>р</sub> <sub>к</sub> | M±m          | З <sub>р</sub> <sub>п</sub> | M±m         | З <sub>р</sub> <sub>п</sub> |
| Контроль          | 0,58±0,044  | -                           | 8,73±1,140    | -                           | 0,15±0,021   | -                           | 1,04±0,037  | -                           |
| ІГ ДКNi+ІГ ДКСd   | 1,72±0,074* | 2,98                        | 15,10±1,473*  | 1,73                        | 0,16±0,005   | 1,04                        | 1,16±0,129  | 1,12                        |
| ІОГ ДКNi+ІГ ДКСd  | 3,36±0,045* | 5,82                        | 37,94±3,499*  | 4,35                        | 0,18±0,011   | 1,13                        | 1,16±0,069  | 1,12                        |
| ІГ ДКNi+ІОГ ДКСd  | 5,56±0,477* | 9,62                        | 28,73±3,226*  | 3,29                        | 0,18±0,024   | 1,14                        | 1,06±0,039  | 1,03                        |
| ІОГ ДКNi+ІОГ ДКСd | 7,82±0,548* | 13,54                       | 43,92±3,71*   | 5,03                        | 0,17±0,039   | 1,07                        | 1,13±0,036  | 1,09                        |
|                   |             |                             | 1 година      |                             |              |                             |             |                             |
| Контроль          | 0,57±0,018  | -                           | 8,43±0,904    | -                           | 0,14±0,010   | -                           | 1,00±0,053  | -                           |
| ІГ ДКNi+ІГ ДКСd   | 3,10±0,077* | 5,43                        | 16,04±1,985*  | 1,90                        | 0,16±0,012   | 1,16                        | 1,06±0,118  | 1,06                        |
| ІОГ ДКNi+ІГ ДКСd  | 3,91±0,008* | 6,86                        | 52,43±2,100*  | 6,22                        | 0,16±0,013   | 1,15                        | 1,64±0,088* | 1,64                        |
| ІГ ДКNi+ІОГ ДКСd  | 5,76±0,569* | 10,11                       | 30,17±2,853*  | 3,58                        | 0,21±0,019*  | 1,49                        | 1,21±0,019* | 1,22                        |
| ІОГ ДКNi+ІОГ ДКСd | 8,70±1,441* | 15,28                       | 58,56±3,98*   | 8,13                        | 0,27±0,009*  | 1,93                        | 1,96±0,182* | 1,96                        |
|                   |             |                             | 7 година      |                             |              |                             |             |                             |
| Контроль          | 0,59±0,045  | -                           | 8,52±0,707    | -                           | 0,16±0,022   | -                           | 1,01±0,053  | -                           |
| ІГ ДКNi+ІГ ДКСd   | 3,11±0,128* | 5,25                        | 17,30±2,244*  | 2,03                        | 0,17±0,011   | 1,07                        | 1,34±0,122* | 1,32                        |
| ІОГ ДКNi+ІГ ДКСd  | 4,03±0,432* | 6,80                        | 57,19±4,186*  | 6,71                        | 0,23±0,018*  | 1,43                        | 2,01±0,226* | 1,99                        |
| ІГ ДКNi+ІОГ ДКСd  | 6,16±0,311* | 10,40                       | 31,20±3,336*  | 3,65                        | 0,43±0,0045* | 2,64                        | 1,92±0,183* | 1,90                        |
| ІОГ ДКNi+ІОГ ДКСd | 8,64±0,697* | 14,59                       | 63,98±14,268* | 7,51                        | 0,45±0,035*  | 2,81                        | 2,13±0,024* | 2,11                        |
|                   |             |                             | 12 година     |                             |              |                             |             |                             |
| Контроль          | 0,87±0,003  | -                           | 8,47±0,899    | -                           | 0,17±0,039   | -                           | 1,04±0,050  | -                           |
| ІГ ДКNi+ІГ ДКСd   | 3,52±0,050* | 4,07                        | 33,23±1,832*  | 3,92                        | 0,27±0,025*  | 1,58                        | 1,68±0,079* | 1,63                        |
| ІОГ ДКNi+ІГ ДКСd  | 4,08±0,705* | 4,71                        | 59,52±3,045*  | 7,03                        | 0,28±0,032*  | 1,62                        | 2,20±0,094* | 2,13                        |
| ІГ ДКNi+ІОГ ДКСd  | 6,58±0,499* | 7,59                        | 43,23±3,582*  | 5,10                        | 0,47±0,007*  | 2,76                        | 2,00±0,089* | 1,93                        |
| ІОГ ДКNi+ІОГ ДКСd | 9,34±1,127* | 10,77                       | 68,85±6,075*  | 8,13                        | 0,50±0,037*  | 2,89                        | 2,35±0,275* | 2,27                        |

Примітка. З<sub>р</sub><sub>к</sub> та З<sub>р</sub><sub>п</sub> – показники внутрішньотканяного забру днення проростків. \* - статистично достовірна відмінність від контролю при p < 0,05.

## ЗМІНИ ПРО-/АНТИОКСИДАНТНОЇ РІВНОВАГИ



**Рис 1. Вміст ТБК-активних продуктів у вегетативних органах 10-добових проростків кукурудзи (10<sup>-6</sup>М МДА/ мг білка): А – корені, Б – листки; 1 – контроль; 2 – 1ГДК Cd+1ГДК Ni; 3 – 1ГДК Cd+10ГДК Ni; 4 – 10ГДК Cd+1ГДК Ni; 5 – 10 ГДК Cd+10ГДК Ni; \* – статистично достовірна різниця відносно контролю при p<0.05**

експозиції проростків на розчинах, що містили суміш з низькою концентрацією кадмію, підвищення його акумуляції не було відзначено. Однак в інших варіантах відбувалася інтенсифікація накопичення забруднювачів в асиміляційному апараті. Так, за дії 1 ГДК нікелю і 10 ГДК кадмію вміст останнього був в 1,5 раза, а за комплексного впливу високої концентрації металів – майже вдвічі вищий, ніж в листках контрольних проростків. Разом з цим, необхідно зазначити, що для нікелю лише за дії токсикантів у низькій концентрації не відбувалося підвищення нагромадження в тканинах листків. В усіх інших варіантах виявлено зростання рівнів акумуляції на 21 і 43% за дії суміші з переважанням кадмію та нікелю відповідно, тоді як за високих концентрацій металів на – 96%.

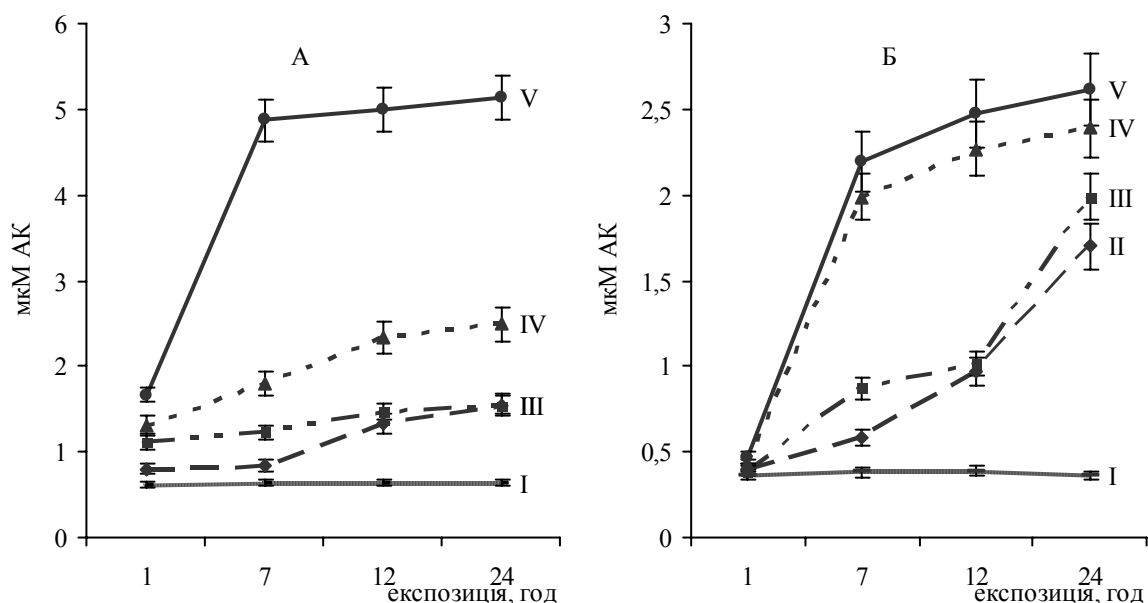
Експозиція проростків на розчинах з низьким вмістом важких металів протягом 12 год призводила до інтенсифікації накопичення нікелю в листках на 30%, тоді як вміст кадмію статистично достовірно не відрізнявся від контролю. В той же час в листках проростків, що зазнали дії суміші металів з високим вмістом хоча б одного з токсикантів, простежується тенденція до уповільнення темпів накопичення нікелю порівняно з величинами для 7 год. Проте надходження кадмію в тканини листків у зазначених вище варіантах та його акумуляція зростала в 1,7-2,0 раза.

Аналіз процесів акумуляції важких металів листками проростків протягом 24-год їх дії дозволив встановити, що інтенсивність накопичення нікелю залишається на тому ж рівні, що і після 12-год стресу, а за високої концентрації

кадмію відбувається призупинення зростання темпів нагромадження останнього.

Таким чином, наведені вище факти дозволяють стверджувати, що поглинання кадмію та нікелю кореневою системою проростків кукурудзи має двофазний характер. Протягом перших 7 год відбувалося швидке поглинання токсикантів, що, згідно з літературними даними, відповідає насиченню металами судин ксилеми [6, 20]. Далі настає лінійна фаза, яка характеризується постійною швидкістю накопичення кадмію та нікелю.

Отримані результати дозволяють стверджувати, що сумісна дія забруднювачів суттєво зміщує про-/антиоксидантну рівновагу як в тканинах листків, так і коренів проростків кукурудзи, викликаючи активацію ПОЛ. Про зростання інтенсивності процесів ПОЛ у вегетативних органах проростків кукурудзи свідчить збільшення вмісту ТБК-активних продуктів в коренях на 19% відносно контрольних проростків, однак в асиміляційному апараті їх кількість не змінювалась (рис. 1). Більш інтенсивний перебіг процесів пероксидації спостерігався у варіантах дослідів, коли хоча б один з металів вносився у високій концентрації. Свідченням вищенаведеної тенденції є зростання вмісту малонового діальдегіду в коренях в середньому на 50%, а в листках на 20% порівняно контролем. У першу годину експерименту найістотніше зростання рівнів утворення ТБК-активних продуктів було у проростків, що зазнавали сумісної дії токсикантів у високій концентрації – в 3,0 та 1,5 раза в кореневій системі та листках відповідно.



**Рис 2.** Активність аскорбатпероксидази у вегетативних органах 10-добових проростків кукурудзи (мкМ аскорбінової кислоти/мг білка за 30 с): А – корені, Б – листки; I – контроль; II – 1ГДК Cd+1ГДК Ni; III – 1ГДК Cd+10ГДК Ni; IV – 10ГДК Cd+1ГДК Ni; V – 10 ГДК Cd+10ГДК Ni.

При збільшенні тривалості комплексного впливу кадмію та нікелю до 7 та 12 год відзначена тенденція щодо зростання концентрації малонового діальдегіду, як в коренях, так і в листках проростків. Найбільшу інтенсифікацію ПОЛ на 12 год стресової дії встановлено у варіанті з використанням високої концентрації обох металів, свідченням чого є вдвічі вищий порівняно з першою годиною вміст ТБК-активних сполук у вегетативних органах проростків.

Вплив на рослини кукурудзи солей кадмію та нікелю протягом 24 год призводив до подальшої інтенсифікації процесів ПОЛ. Так, вміст малонового діальдегіду в листках зростав в 2,5-4,0 раза відносно контролю, що в 1,3-2,2 раза перевищувало аналогічні значення відповідних варіантів після 12-год стресової дії. Для коренів проростків характерна аналогічна тенденція. Проте в кореневій системі кількість кінцевих продуктів пероксидації в 1,3-1,9 раза перевищувала зазначений показник в тканинах асиміляційного апарату.

Відомо, що активація ПОЛ, викликана стресовими факторами різної природи, призводить до запуску механізмів захисту клітин, передусім до змін активності ферментів антиоксидантної системи, зокрема аскорбатпероксидази. Проведені дослідження активності аскорбатпероксидази в коренях проростків кукурудзи дозволили встановити, що сумісний вплив кадмію та нікелю вже на початковому етапі стресової дії призводив до зростання активності

цього ферменту. Так, годинна експозиція проростків на розчинах, що містили суміш металів у низькій концентрації, зумовлювала підвищення активності аскорбатпероксидази на 30% порівняно з контролем (рис. 2, А). За комплексної дії, коли хоча б один метал вносився у високій концентрації, інтенсивність функціонування аскорбатпероксидази підвищувалась в 1,8-2,0 рази, тоді як високий вміст обох металів у середовищі зумовлював зростання значень активності ферменту майже втричі.

Зі збільшенням тривалості стресового впливу до 7 год в коренях проростків спостерігалось подальше підвищення активності аскорбатпероксидази. Так, за низької концентрації сполук кадмію та нікелю порівняно з першою год відзначене її зростання на 5%. У варіантах дослідів з використанням нікелю у високій концентрації та кадмію у низькій зазначена оксидоредуктаза функціонувала вже на 10% активніше, тоді як при переважанні у середовищі кадмію – на 37% порівняно з 1 год впливу важких металів. За умов сумісного впливу високих концентрацій металів виявлена значна інтенсифікація функціонування аскорбатпероксидази. Так, значення активності ферменту були втричі більшими порівняно з 1 год стресового впливу, що в 7,6 раза перевищує контрольні величини.

Аналогічна тенденція зміни активності аскорбатпероксидази спостерігалась і у варіантах дослідів зі збільшенням тривалості інтоксикації металами до 12 год. Так, наприклад, вне-

## ЗМІНИ ПРО-/АНТИОКСИДАНТНОЇ РІВНОВАГИ

сення полютантів у низькій концентрації зумовлювало зростання інтенсивності функціонування аскорбатпероксидази в 1,6 раза порівняно з попереднім варіантом. Поряд з цим, необхідно зазначити, що у варіанті за дії високої концентрації обох токсикантів активність аскорбатпероксидази збільшувалась лише на 2% відносно аналогічного варіанта на 7 год експозиції (рис. 2, А). На нашу думку, цей факт може свідчити про недостатню для нормального функціонування ферменту кількість аскорбінової кислоти, яка використовується аскорбатпероксидазою як специфічний субстрат.

Збільшення тривалості експозиції проростків на розчинах важких металів до 24 год призводило до уповільнення темпів зростання активності аскорбатпероксидази. За низького вмісту кадмію та нікелю у середовищі вирощування інтенсивність функціонування досліджуваного ферменту перевищувала відповідну після 12-год стресу на 16%, тоді як за дії суміші з переважанням нікелю зазначене збільшення активності становило лише 6%. В усіх інших варіантах дослідження значення активності на 24 год стресу статистично достовірно не відрізнялись від 12 год.

Аналіз даних модельних експериментів показав, що в листках проростків кукурудзи (рис. 2, Б) через годину після комплексного внесення сполук кадмію і нікелю активність аскорбатпероксидази не перевищувала контрольних значень. Це пояснюється залежністю функціонування антиоксидантних ферментів від темпів накопичення металів тканинами та від інтенсивності ПОЛ. На 7 год експерименту за дії низької концентрації токсикантів активність аскорбатпероксидази в листках проростків також статистично достовірно не відрізнялась від контролю. Разом з цим, сумісний вплив металів, де хоча б один був у високій концентрації, зумовлював зростання інтенсивності функціонування ферменту в 2,3 та 5,2 раза при переважанні нікелю та кадмію відповідно. Одночасно за умов комплексного внесення у середовище вирощування полютантів у високих концентраціях активність аскорбатпероксидази в листках була майже в 6 разів вищою, ніж у контрольних проростків.

Результати досліджень засвідчили, що експозиція проростків на розчинах важких металів протягом 12 год призводить до подальшого зростання активності аскорбатпероксидази в листках. Причому лише за дії низьких концентрацій кадмію та нікелю інтенсивність функціонування зазначеного ферменту збільшувалась

на 67%, тоді як у всіх інших варіантах дослідів відзначене підвищення становило в середньому 14% порівняно з 7 год дії полютантів.

При збільшенні часу сумісного впливу іонів кадмію і нікелю до 24 год спостерігалася аналогічна вищеописаній тенденція в листках проростків кукурудзи відповідним варіантам дослідів після 12-годинного експозиції. Необхідно лише відзначити, що при внесенні низьких концентрацій солей обох металів та у варіанті високої концентрації нікелю на тлі низької кадмію спостерігалася більш інтенсивне підвищення значень активності аскорбатпероксидази, ніж в інших варіантах.

Підсумовуючи результати досліджень, можна стверджувати, що кадмій і нікель за сумісної дії найбільш інтенсивно поглинаються кореневою системою проростків кукурудзи протягом перших 7 год стресового впливу, після чого швидкість їх накопичення значно уповільнюється. Тобто, в даному випадку можна говорити про двофазний характер поглинання зазначених металів. Разом з цим, накопичення токсикантів в тканинах асиміляційного апарату відбувалося лише після 7-год експозиції і зростало з подовженням тривалості стресового впливу та збільшенням концентрації останніх. Токсична дія кадмію та нікелю на ранніх етапах онтогенезу кукурудзи призводить до порушення про-/антиоксидантної рівноваги, що виявляється в інтенсифікації процесів ПОЛ як маркерів стресового впливу, а також відповідним підвищенням активності аскорбатпероксидази – одного з ключових ферментів антиоксидантного захисту.

Робота виконана в рамках проекту за ціллювою програмою НАН України “Новітні медико-біологічні проблеми та навколишнє середовище людини”.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Барабой В.А., Сутковой Д.А.* Окислительно-антиоксидантный гомеостаз в норме и патологии. – К.: Чернобыльинтеринформ, 1997. – 422 с.
2. *Гришко В.Н., Сищиков Д.В.* Пероксидное окисление липидов и функционирование некоторых антиокислительных ферментных систем у кукурузы и овса при остром поражении фтористым водородом // Укр. біохім. журн. – 1999. – Т. 71, № 3. – С. 51-57.
3. *ГОСТ 26657-85.* Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания фосфора. – 5 с.

4. Ильин В.Б., Степанова М.Д. Относительные показатели загрязнения в системе почва-растение // Почвоведение. – 1979. - № 11. – С. 61-67.
5. Камышиников В.С. Справочник по клинико-биохимической лабораторной диагностике. – Минск: Беларусь, 2000. – Т. 2. – С. 207.
6. Мельничук Ю.П. Влияние ионов кадмия на клеточное деление и рост растений. – Киев: Наук. думка, 1990. – 148 с.
7. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М., 1989. – 62 с.
8. Микієвич І.М. Роль аскорбінової кислоти та ферментів її метаболізму в адаптації рослин до токсичної дії іонів свинцю: Автореф. дис. ... канд. біол. наук – Львів, 2003. – 20 с.
9. Платонова А.А., Костишин С.С. Вміст малонового діальдегіду та активність антиоксидантних ферментів у проростках гороху за дії іонів кадмію // Физиология и биохимия культ. растений. – 2000. – Т. 32, № 2. – С. 146-150.
10. Полеская О.Г., Каширская Е.И., Алехина Н.Д. Изменение активности антиоксидантных ферментов в листьях и корнях пшеницы в зависимости от формы и дозы азота в среде // Физиология растений. – 2004. – Т. 51, № 5. – С. 686-691.
11. Сициков Д.В., Гришко В.М. Накопичення нікелю вегетативними органами проростків гороху та кукурудзи // Доп. НАН України. – 2006. - № 1. – С. 167-172.
12. Greenberg Ch.S., Gaddock Rh.R. Rapid single step membrane protease assay // Clin. Chem. – 1982. – V. 28, № 7. – P. 1726-1728.
13. Hull M.R., Long S.P., Jahnke L.S. Instantaneous and development effects of low temperature on the catalytic properties of antioxidant enzymes in two *Zea* species // Aust. J. Plant Physiol. – 1997. – V. 24. – P. 337-343.
14. Luna C.M., Gonzalez C.A., Trippi V.S. Oxidative damage caused by an excess of copper in oat leaves // Plant Cell Physiol. – 1994. – V. 35. – P. 11-15.
15. Mittova V.O., Igamberdiev A.U. Operation of ascorbate-glutathione cycle in higher plants under the conditions of anoxia: Abstr. 11<sup>th</sup> Congress of the Federation of European Societies of Plant Physiology, Varna, 7-11 Sept., 1998 // Bulg. J. Plant Physiol. – 1998. – Spec. Issue. – P. 288.
16. Nakano Y., Asada K. Hydrogen peroxide is scavenger by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts // Plant and Cell Physiol. – 1981. – V. 22, № 5. – P. 867-880.
17. Pandolfini T., Gabrielly R., Vergnano O. Ni<sup>2+</sup> effects on lipid peroxidation and free radical defence enzymes in *Triticum aestivum* // Physiol. Plant. – 1992. – V. 85, № 3. – P. 70.
18. Pands S., Mishra A.K., Biswal U.C. Manganese induced peroxidation of thylakoid lipids and changes in chlorophyll-a fluorescence during aging of cell free chloroplasts in light // Phytochemistry. – 1987. – V. 26, № 12. – P. 3217-3219.
19. Schutzendubel A., Schwanz P., Teichmann T. et al. Cadmium-induced changes in antioxidant systems, hydrogen peroxide content, and differentiation in scotch pine roots // Plant Physiol. – 2001. – V. 127. – P. 887-898.
20. Yang X.E., Baligar V.C., Foster J.S., Martens D.C. Accumulation and transport of nickel in relation to organic acids in ryegrass and maize grown with different nickel levels // Plant Soil. – 1997. – V. 196. – P. 271-276.

Надійшла до редакції  
31.08. 2007 р.

### **CHANGES OF PRO-/ANTIOXIDANT STABILITY IN MAIZE SHOOTS AT DIFFERENT LEVEL OF ACCUMULATION OF CADMIUM AND NICKEL**

T. A. Demura, V. M. Grishko

*Kryvyi Rig Botanic Garden of the National academy of sciences of Ukraine  
(Kryvyi Rig, Ukraine)*

It is investigated joint influencing of cadmium and nickel on the feature of their accumulation by the vegetative organs of 10-days' maize shoots. It is set that most intensively noted metals are taken in by the roots of shoots in the first 7 hours stressing influencing, while in leaves they appear only after a 7-hourlong display. It is rotined that the absorption process of the noted metals by a root system is carried by two-phase character. The indexes of inner-tissue contamination are calculated. Activating

## **ЗМІНИ ПРО-/АНТИОКСИДАНТНОЇ РІВНОВАГИ**

by the cadmium and nickel ions of lipid peroxidation as marker of the stressing influencing, and also is shown the proper increase of intensity of functioning of ascorbate peroxidase as the antioxidant enzyme protection of cell.

**Key words:** *Zea mays L., cadmium, nickel, stress, lipid peroxidation, ascorbate peroxidase*

## **ИЗМЕНЕНИЯ ПРО-/АНТИОКСИДАНТНОГО РАВНОВЕСИЯ У ПРОРОСТКОВ КУКУРУЗЫ ПРИ РАЗНОМ УРОВНЕ НАКОПЛЕНИЯ КАДМИЯ И НИКЕЛЯ**

Т. А. Демура, В. Н. Гришко

*Криворожский ботанический сад Национальной академии наук Украины  
(Кривой Рог, Украина)*

Исследованы особенности аккумуляции вегетативными органами 10-дневных проростков кукурузы кадмия и никеля при комбинированном их влиянии. Установлено, что наиболее интенсивно отмеченные металлы поглощались корнями проростков в первые 7 ч стрессового влияния, тогда как в листьях они выявлялись лишь после 7 ч экспозиции. Показано, что процесс поглощения отмеченных металлов корневой системой имеет двухфазный характер. Рассчитаны индексы внутритканевого загрязнения. Продемонстрирована активация ионами кадмия и никеля пероксидного окисления липидов как маркера стрессового влияния, а также соответствующее повышение активности аскорбатпероксидазы как фермента антиоксидантной защиты клетки.

**Ключевые слова:** *Zea mays L., кадмий, никель, стресс, перекисное окисление липидов, аскорбатпероксидаза*