

УДК 581.1:581.5:577.04

ДИНАМІКА ВМІСТУ МЕТАБОЛІТІВ АСКОРБІНОВОЇ КИСЛОТИ В ПРОРОСТКАХ КУКУРУДЗИ ЗА СУМІСНОЇ ДІЇ КАДМІЮ І НІКЕЛЮ

В.М. ГРИШКО, Т.А. ДЕДУРА

*Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України
50089 Кривий Ріг, вул. Маршак, 50*

Досліджували динаміку вмісту різних метаболітів аскорбінової кислоти у листках проростків кукурудзи за сумісної дії кадмію і нікелю. Інтенсивна акумуляція останніх відмічається вже на 7-му годину стресового впливу, а після 12 год темпи акумуляції металів істотно знижуються, причому швидкість накопичення нікелю вища, ніж кадмію. Доведено, що за дії низьких концентрацій кадмію і нікелю протягом 24 год їх сумісного впливу вміст аскорбінової кислоти в листках зростає на 25 %, тоді як підвищений рівень хоча б одного з металів призводить до інтенсивного використання вітаміну С, що засвідчує підвищення на 22–48 % вмісту дегідроаскорбінової та 2,3-дикетогулонової кислот та зниження на 40–72 % активності дегідроаскорбатредуктази.

Ключові слова: *Zea mays* L., кадмій, нікель, аскорбінова кислота, дегідроаскорбатредуктаза.

У результаті господарської діяльності людини, зокрема функціонування промислових підприємств та хімізації сільського господарства, в біогеохімічний кругообіг інтенсивно залучаються важкі метали, серед яких токсичними забруднювачами стали кадмій і нікель за темпами їх накопичення в біосфері [11, 12]. Попередніми дослідженнями доведено, що ці метали зміщують прооксидантно-антиоксидантну рівновагу в бік активації пероксидного окиснення ліпідів у тканинах гороху, кукурудзи, огірка [3, 9, 14, 23].

Фізіологічно нормальний рівень вільнорадикальних процесів у клітині забезпечується функціонуванням складної системи антиоксидантного захисту [1]. До складу останньої входять як низькомолекулярні антиоксиданти, так і ферментні системи. Ключову роль у хлоропластах та цитозолі рослин відіграє аскорбінова кислота, яка здатна безпосередньо взаємодіяти з активними формами кисню, а також бере участь у відновленні інших низькомолекулярних антиоксидантів шляхом неферментативних і ферментативних реакцій [8, 16, 21–23]. Пул аскорбату в рослинних клітинах може зменшуватись внаслідок його окиснення до дегідроаскорбінової кислоти. Остання дегідроаскорбатредуктазою відновлюється до аскорбінової кислоти або піддається незворотній гідролітичній дециклізації з утворенням 2,3-дикетогулонової кислоти. Однак відомості про зміну функціонування аскорбатзалежної антиоксидантної системи (аскорбінова кислота, її окиснені форми, аскорбатпероксидаза, дегідроаскорбатредуктаза), спрямовану на ослаблення дії оксидативного стресу у рослин, досить обмежені й неоднозначні. Зокрема,

обробка *Conyza bonariensis* (L.) Cronquist паракватом приводила до збільшення активності дегідроаскорбатредуктази [15]. Ель-Шора [17] показав, що за підвищеного рівня міді та за умов окиснювального стресу, спричиненого пероксидом водню, активність дегідроаскорбатредуктази в ізольованих листках гарбуза звичайного знижувалась. Інгібування ферменту в коренях та асиміляційному апараті соняшника при експозиції рослин за високих концентрацій ацетату свинцю підтверджує підвищення рівнів дегідроаскорбінової та 2,3-дикетогулонової кислот з одночасним зменшенням вмісту аскорбінової кислоти [8]. Інтенсивне використання останньої в меристемах коренів гарбуза виявлено за умов дефіциту бору і надлишку алюмінію [18]. Проте роль аскорбінової кислоти та ферментів її метаболізму в адаптації рослин до токсичного впливу комплексу важких металів донині залишається нез'ясованою.

Метою нашої роботи було встановлення особливостей динаміки вмісту метаболітів аскорбінової кислоти, аскорбатпероксидази і дегідроаскорбатредуктази за сумісної дії кадмію та нікелю в листках проростків кукурудзи.

Методика

Насіння кукурудзи (*Zea mays* L.) гібрида Бліц 160 МВ пророщували протягом 3 діб на зволоженому дистильованою водою фільтрувальному папері, після чого проростки переносили у вегетаційні пластикові посудини з дистильованою водою. Модельні досліди проводили за схемою повного двофакторного експерименту з двома рівнями факторів [4]. У досліджах використовували розчини CdSO_4 і NiSO_4 концентраціями 3 і 30 мг/л Cd^{2+} та 4 і 40 мг/л Ni^{2+} . Через 10 діб середовище вирощування замінювали на зазначені вище розчини важких металів. Рослини вирощували за природного рівня освітленості. Вміст важких металів, аскорбінової кислоти, а також активність дегідроаскорбатредуктази визначали у 14-добових проростках.

Вміст кадмію і нікелю в рослинному матеріалі визначали на атомно-адсорбційному спектрофотометрі С-115 (Україна) за загальноприйнятими методами [7]. Показники внутрішньотканинного забруднення для кожного з металів розраховували за Ільїним [5].

Вміст аскорбінової, дегідроаскорбінової та дикетогулонової кислот у листках рослин визначали за методом, що ґрунтується на взаємодії 2,4-динітрофенілгідазину з дегідроаскорбіновою та дикетогулоновою кислотами, внаслідок чого у 42,5 %-му розчині H_2SO_4 утворюються відповідні озазони, які дають червоне забарвлення [13]. Вміст аскорбінової, дегідроаскорбінової та дикетогулонової кислот розраховували за різницею поглинання при 520 нм. Для побудови калібрувального графіка брали стандартні розчини відновленої аскорбінової кислоти.

Активність дегідроаскорбатредуктази визначали за методом Накано й Асада [20]. Реакційна суміш містила 0,5 мл 50 мМ калій-фосфатного буфера, рН 7,0; 0,1 мл 0,1 мМ ЕДТА, 0,1 мл 2,5 мМ відновленого глутатіону і 200 мкл 20 %-го гомогенату. Реакцію ініціювали додаванням 0,1 мл 0,2 мМ дегідроаскорбінової кислоти і реєстрували за зменшенням оптичної густини при довжині хвилі 265 нм в інтервалі часу 1—30 с. Вміст білка в гомогенатах рослинних тканин визначали за методом Грінберга за реакцією з бромфеноловим синім [19].

Аналітична повторність дослідів чотириразова, біологічна повторність кожного дослідів — триразова. Статистичну обробку експери-

ментальних даних проведено за загальноприйнятими методами параметричної статистики за 95 % рівня значущості за Румшиським [10].

Результати та обговорення

Аналіз даних модельних експериментів показав, що темпи транслокації металів у листки залежать як від концентрації токсикантів у середовищі вирощування, так і від тривалості їх впливу (табл. 1). На початковому етапі стресової дії кадмію і нікелю (1 год після внесення металів) у всіх варіантах досліду їх вміст не різнився від контролю, що вказує на необхідність певного часу для насичення тканин первинної кори кореня і транспорту до листків крізь елементи ксилеми. Після 7 год експозиції проростків на розчинах, що містили суміш солей із низькою концентрацією кадмію (3 мг/л Cd^{2+} + 4 мг/л Ni^{2+} ; 3 мг/л Cd^{2+} + 40 мг/л Ni^{2+}) також не зафіксовано підвищення його акумуляції в листках кукурудзи.

ТАБЛИЦЯ 1. Вміст кадмію і нікелю в листках кукурудзи, мкг/г сухої речовини

| Варіант | Кадмій | | Нікель | |
|---|--------------|------------------|---------------|------------------|
| | $M \pm m$ | $Z^p_{\text{л}}$ | $M \pm m$ | $Z^p_{\text{л}}$ |
| 1 год | | | | |
| Контроль | 0,15±0,021 | — | 1,04 ± 0,037 | — |
| 3 мг/л Cd^{2+} + 4 мг/л Ni^{2+} | 0,16±0,005 | 1,04 | 1,16 ± 0,129 | 1,12 |
| 3 мг/л Cd^{2+} + 40 мг/л Ni^{2+} | 0,18 ± 0,011 | 1,13 | 1,16 ± 0,069 | 1,12 |
| 30 мг/л Cd^{2+} + 4 мг/л Ni^{2+} | 0,18±0,024 | 1,14 | 1,06 ± 0,039 | 1,03 |
| 30 мг/л Cd^{2+} + 40 мг/л Ni^{2+} | 0,17±0,039 | 1,07 | 1,13 ± 0,036 | 1,09 |
| 7 год | | | | |
| Контроль | 0,14±0,010 | — | 1,00 ± 0,053 | — |
| 3 мг/л Cd^{2+} + 4 мг/л Ni^{2+} | 0,16±0,012 | 1,16 | 1,06 ± 0,118 | 1,06 |
| 3 мг/л Cd^{2+} + 40 мг/л Ni^{2+} | 0,16±0,013 | 1,15 | 1,64 ± 0,088* | 1,64 |
| 30 мг/л Cd^{2+} + 4 мг/л Ni^{2+} | 0,21±0,019* | 1,49 | 1,21 ± 0,019* | 1,22 |
| 30 мг/л Cd^{2+} + 40 мг/л Ni^{2+} | 0,27±0,009* | 1,93 | 1,96 ± 0,182* | 1,96 |
| 12 год | | | | |
| Контроль | 0,16±0,022 | — | 1,01 ± 0,053 | — |
| 3 мг/л Cd^{2+} + 4 мг/л Ni^{2+} | 0,17±0,011 | 1,07 | 1,34 ± 0,122* | 1,32 |
| 3 мг/л Cd^{2+} + 40 мг/л Ni^{2+} | 0,23±0,018* | 1,43 | 2,01 ± 0,226* | 1,99 |
| 30 мг/л Cd^{2+} + 4 мг/л Ni^{2+} | 0,43±0,045* | 2,64 | 1,92 ± 0,183* | 1,90 |
| 30 мг/л Cd^{2+} + 40 мг/л Ni^{2+} | 0,45±0,035* | 2,81 | 2,13 ± 0,024* | 2,11 |
| 24 год | | | | |
| Контроль | 0,17±0,039 | — | 1,04 ± 0,050 | — |
| 3 мг/л Cd^{2+} + 4 мг/л Ni^{2+} | 0,27±0,025* | 1,58 | 1,68 ± 0,079* | 1,63 |
| 3 мг/л Cd^{2+} + 40 мг/л Ni^{2+} | 0,28±0,032* | 1,62 | 2,20 ± 0,094* | 2,13 |
| 30 мг/л Cd^{2+} + 4 мг/л Ni^{2+} | 0,47±0,007* | 2,76 | 2,00 ± 0,089* | 1,93 |
| 30 мг/л Cd^{2+} + 40 мг/л Ni^{2+} | 0,50±0,037* | 2,89 | 2,35 ± 0,275* | 2,27 |

Примітка. $Z^p_{\text{л}}$ — показник внутрішньотканинного забруднення листків.
*Статистично вірогідна різниця відносно контролю за $p < 0,05$.

Однак в інших варіантах спостерігалась інтенсифікація накопичення забруднювачів в асиміляційному апараті. Так, за дії 4 мг/л Ni^{2+} і 30 мг/л Cd^{2+} вміст останнього був у 1,5 рази, а за комплексного впливу високих концентрацій металів — майже в 2 рази вищий, ніж у листках контрольних проростків. Слід зазначити, що для нікелю, на відміну від кадмію, лише за дії низьких концентрацій токсикантів не виявлено підвищення його вмісту в тканинах листків, тоді як вплив суміші з переважанням кадмію спричинював зростання акумуляції нікелю на 21 %, за умов застосування суміші з переважанням нікелю — на 64 %, а за високих концентрацій обох металів — на 96 % порівняно з контролем.

Експозиція проростків на розчинах із низьким вмістом важких металів протягом 12 год призводила до інтенсифікації накопичення нікелю (на 30 %) у листках, тоді як концентрація кадмію статистично вірогідно не різнилась від контролю. Проте в листках проростків, вирощуваних на суміші металів із високим вмістом хоча б одного з них, акумуляція кадмію збільшувалась (показники внутрішньотканинного забруднення листків зростали в 1,2—1,8 рази порівняно з експозицією 7 год). Із подовженням тривалості стресового впливу до 24 год зафіксовано тенденцію уповільнення темпів накопичення нікелю (порівняно з даними для 12 год), що підтверджують близькі значення відповідних показників внутрішньотканинного забруднення листків (див. табл. 1), тоді як для кадмію аналогічна тенденція сповільнення темпів акумуляції спостерігалась за високої його концентрації.

Отже, викладене вище дає підставу констатувати двохфазний характер поглинання кадмію і нікелю. Протягом перших 7 год спостерігається швидке поглинання токсикантів, далі настає лінійна фаза, що характеризується сталою швидкістю накопичення цих металів. Зіставивши отримані результати, можна стверджувати, що така тенденція добре узгоджується з даними Мельничука [6], який відмічав, що в перші 6 год стресового впливу відбувається насичення кадмієм судин ксилеми. Згідно з отриманими експериментальними даними, як нікель, так і кадмій за сумісної дії виявляють аналогічний характер поглинання, хоча максимальні темпи накопичення нікелю в листках кукурудзи спостерігались на 12-ту годину стресового впливу, а кадмію — на 24-ту. Такі особливості певною мірою можна пояснити існуванням для кадмію бар'єрних механізмів (які для нікелю на сьогодні не встановлені), таких як ендодерма на тканинному і плазмолема на клітинному рівнях, що заважають його надходженню до надземної частини рослин [12].

Нашими попередніми дослідженнями на чотирьох гібридах кукурудзи було доведено, що за низької концентрації кадмію і нікелю ріст вегетативних органів, зокрема головного кореня у різних гібридів на 7—22 % пригнічувався і за високого вмісту цих металів ріст гальмувався на 38—52 % [2]. Встановлені особливості акумуляції токсикантів у асиміляційних органах кукурудзи добре узгоджуються також з отриманими раніше даними щодо підвищення рівня продуктів пероксидного окиснення ліпідів, які є головними показниками розвитку оксидного стресу [2, 3].

У формуванні відповіді рослин на сумісний вплив кадмію і нікелю активну участь беруть аскорбінова кислота та ферменти її метаболізму. На початковому етапі стресового впливу важких металів (1 год після внесення солей металів) кількість цього антиоксиданту не змінювалась відносно контрольного рівня (табл. 2), тоді як активність дегідроаскор-

ТАБЛИЦЯ 2. Вміст різних форм аскорбінової кислоти в листках проростків кукурудзи (мкг/г сухої речовини)

| Варіант | Тривалість стресового впливу, год | | | |
|---|---------------------------------------|--|---|--|
| | 1 | 7 | 12 | 24 |
| Контроль | $181,8 \pm 11,58$ $119,9 \pm 5,05$ | $172,8 \pm 12,41$ $113,5 \pm 3,68$ | $175,4 \pm 8,99$ $116,1 \pm 2,03$ | $176,7 \pm 2,24$ $113,1 \pm 3,70$ |
| 3 мг/л Cd ²⁺ + 4 мг/л Ni ²⁺ | $183,6 \pm 2,05$ $125,5 \pm 1,31$ | $195,8 \pm 5,20$ $104,1 \pm 7,60$ | $185,5 \pm 8,14$ $152,3 \pm 3,52^*$ | $229,5 \pm 7,18^*$ $114,5 \pm 3,74$ |
| 3 мг/л Cd ²⁺ + 40 мг/л Ni ²⁺ | $184,2 \pm 7,97$ $113,1 \pm 7,20$ | $190,2 \pm 2,43$ $108,1 \pm 1,42$ | $160,2 \pm 1,27$ $138,9 \pm 1,02^*$ | $98,3 \pm 7,45^*$ $229,0 \pm 8,85^*$ |
| 30 мг/л Cd ²⁺ + 4 мг/л Ni ²⁺ | $193,5 \pm 8,79$ $110,2 \pm 7,90$ | $165,0 \pm 1,38$ $143,0 \pm 2,71^*$ | $168,7 \pm 6,07$ $161,9 \pm 0,79^*$ | $84,8 \pm 3,21^*$ $219,3 \pm 0,49^*$ |
| 30 мг/л Cd ²⁺ + 40 мг/л Ni ²⁺ | $188,6 \pm 2,64$ $111,4 \pm 2,19$ | $121,3 \pm 2,06^*$ $180,8 \pm 0,80^*$ | $84,8 \pm 4,76^*$ $189,7 \pm 3,34^*$ | $75,9 \pm 3,90^*$ $281,5 \pm 12,83^*$ |

Примітка. Над рискою — вміст аскорбінової кислоти, під рискою — вміст дегідроаскорбінової кислоти. * Статистично вірогідна різниця відносно контролю за $p < 0,05$.

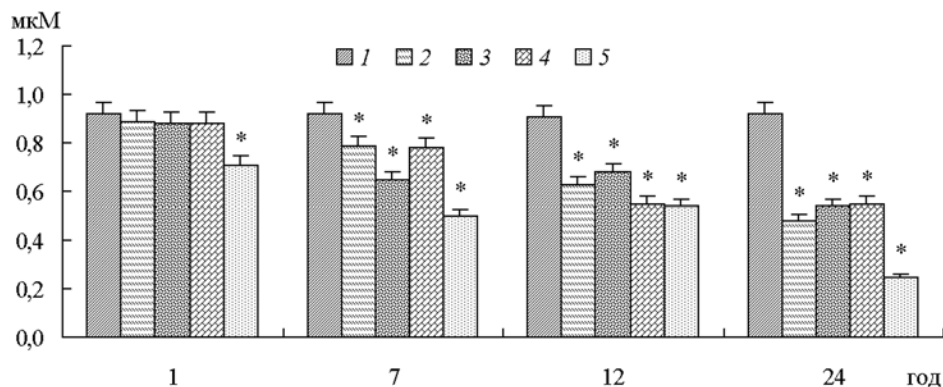


Рис. 1. Активність дегідроаскорбатредуктази в листках кукурудзи (мкМ дегідроаскорбінової кислоти/мг білка за 30 с). Тут і на рис. 2:

1 — контроль; 2 — 3 мг/л Cd^{2+} + 4 мг/л Ni^{2+} ; 3 — 3 мг/л Cd^{2+} + 40 мг/л Ni^{2+} ; 4 — 30 мг/л Cd^{2+} + 4 мг/л Ni^{2+} ; 5 — 30 мг/л Cd^{2+} + 40 мг/л Ni^{2+} .

*Статистично вірогідна різниця відносно контролю за $p < 0,05$

батредуктази в першу годину стресової дії кадмію і нікелю у високих концентраціях знижувалась на 23 % (рис. 1).

Через 7 год експозиції зниження активності дегідроаскорбатредуктази на 15 % спостерігалось уже й за низького вмісту сполук кадмію і нікелю в середовищі вирощування. Використання комбінації кадмію і нікелю з переважанням одного з металів обумовлювало істотніше зниження активності ферменту (на 20—30 %), а за високого вмісту обох токсикантів його активність була майже вдвічі нижчою за контрольну. Разом з тим виявлено підвищення концентрації дегідроаскорбінової та дикетогулонової кислот майже на 60 % у варіантах за низької концентрації нікелю на фоні високої кадмію та за високого вмісту обох металів у листках кукурудзи (табл. 2, рис. 2). Проте у варіанті за сумісної дії кадмію і нікелю у високих концентраціях вміст вітаміну С знижувався лише на 30 % порівняно з контролем протягом 7 год що, на нашу думку, спричинено недостатньою інтенсивністю синтезу аскорбату за стресових умов.

За 12- і 24-годинної експозиції проростків на розчинах важких металів із високим вмістом хоча б одного з них також спостерігалась загальна тенденція зменшення вмісту аскорбінової кислоти з одночасним збільшенням вмісту окиснених форм. Слід зазначити, що за сумісної дії токсикантів у низькій концентрації активність ферменту зменшувалась на 30 % порівняно з контролем і була на 17 % нижчою, ніж у відповідно-

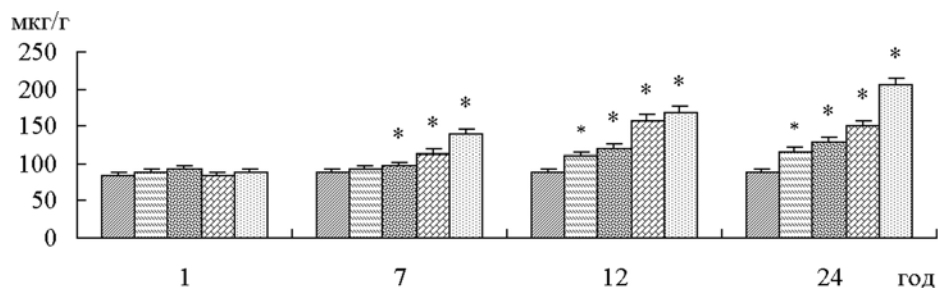


Рис. 2. Вміст 2,3-дикетогулонової кислоти в листках кукурудзи (мкг/г сирі речовини)

му варіанті за 7 год стресового впливу. В усіх інших варіантах значення активності дегідроаскорбатредуктази через 12 і 24 год істотно не різнились між собою, що добре узгоджується з наведеними вище даними щодо припинення транслокації кадмію і нікелю в тканини листків.

Разом з цим слід зазначити, що за комплексного впливу токсикантів у низькій концентрації в асиміляційних органах вміст аскорбінової кислоти не знижувався, а на 24-ту годину експерименту навіть зростав (на 20 % порівняно з контролем), а вміст дегідроаскорбінової кислоти наближався до контрольного рівня (порівняно з 12-годинною експозицією). Концентрація кінцевого продукту окиснення аскорбату (2,3-дикетогулонової кислоти) та дегідроаскорбатредуктазна активність істотно не змінювались порівняно з 12-годинною експозицією. Подібну тенденцію щодо зростання вмісту аскорбінової кислоти у проростках соняшника за низького рівня забруднення середовища свинцем відмічала Микієвич [8], тобто встановлені факти підтверджують активацію процесів синтезу вітаміну С та його використання у формуванні загальних неспецифічних адаптивних реакцій у рослин за впливу важких металів.

Отже, вивчення процесів транслокації іонів кадмію і нікелю в листках проростків кукурудзи показало, що інтенсивна акумуляція токсикантів відмічається вже на 7-му годину стресового впливу, а після 12 год темпи накопичення металів значно знижуються, причому швидкість накопичення нікелю вища, ніж кадмію. Хоча в цьому дослідженні і встановлено різні темпи акумуляції Ni і Cd, проте процес їх надходження в листки має двофазний характер. Доведено, що за низьких концентрацій кадмію і нікелю (3 мг/л Cd^{2+} + 4 мг/л Ni^{2+}) у середовищі вирощування протягом 24 год їх сумісного впливу вміст аскорбінової кислоти в листках рослин зростає, тоді як підвищений рівень хоча б одного з металів призводить до інтенсивного використання вітаміну С, що підтверджує відповідне зростання вмісту дегідроаскорбінової та 2,3-дикетогулонової кислот і зниження активності дегідроаскорбатредуктази.

1. *Владимиров Ю.А.* Свободные радикалы в биологических системах // Соросовский образовательный журн. — 2000. — 6, № 12. — С. 13—19.
2. *Гришко В.М., Демура Т.А.* Інтенсивність акумуляції кадмію і нікелю та рівень їх фітотоксичності за сумісної дії на проростки кукурудзи // Доп. НАН України. — 2008. — № 5. — С. 161—167.
3. *Демура Т.А.* Процеси пероксидного окиснення ліпідів та активність аскорбатпероксидази в коренях кукурудзи за комплексного впливу кадмію та нікелю // Рослини та урбанізація: Матеріали наук.-практ. конф. — Дніпропетровськ: ООО ТПГ «Куница», 2007. — С. 120—122.
4. *Єгоршин О.О., Лісовий М.В.* Математичне планування польових дослідів та статистична обробка експериментальних даних. — Харків: ННЦ Ін-т ґрунтознавства та агрохімії УААН, 2005. — 194 с.
5. *Ильин В.Б., Степанова М.Д.* Относительные показатели загрязнения в системе почва—растение // Почвоведение. — 1979. — № 11. — С. 61—67.
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.: Би., 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. — 32, № 2. — С. 146—150.

10. Румицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. — М.: Наука, 1971. — 192 с.
11. Селезнева Е.М., Гончарова Л.И., Анисимов В.С. и др. Влияние загрязнения почвы кадмием на продуктивность потомков ярового ячменя // *Агрехимия*. — 2005. — № 10. — С. 88—91.
12. Серегин И.В., Кожевникова А.Д., Казюмина Е.М., Иванов В.Б. Токсическое действие и распределение никеля в корнях кукурузы // *Физиология растений*. — 2003. — **50**, № 5. — С. 793—800.
13. *Специальный практикум по биохимии и физиологии растений* / Под ред. проф. М.М. Окунцова. — Калининград: Изд-во Калинингр. ун-та, 1981. — 37 с.
14. Vascouch S., Chaoui A., El Ferjani E. Nickel toxicity induces oxidative damage in *Zea mays* roots // *J. Plant Nutr.* — 2001. — **24**, N 7. — P. 1085—1097.
15. Bin Y., Gresswl J. Transient, oxidant-induced antioxidant transcript and enzyme levels correlate with greater oxidant-resistance in paraquat-resistant *Conyza bonariensis* // *Planta*. — 2000. — **211**, N 1. — P. 50—61.
16. De Tullio M.C., Pacciolla C., Arrigoni O. Identification and analysis of sharing dehydroascorbate reductase activity // *Biol. Plant.* — 2002. — **45**, N 1. — P. 145—147.
17. El-Shora H.M. Activities of antioxidative enzymes and senescence in detached *Cucurbita pepo* under Cu- and oxidative stress by H₂O₂ // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2.* — 2003. — **44**, № 1. — С. 66—72.
18. Eukaszewski K.M., Blevins D.G. Root growth inhibition in borodeficient or aluminium-stressed squash may be a result of impaired ascorbate metabolism // *Plant Physiol.* — 1996. — **112**, N 3. — P. 1135—1140.
19. Greenberg Ch.S., Gaddock Rh.R. Rapid single step membrane proteine assay // *Clin. Chem.* — 1982. — **28**, N 7. — P. 1726—1728.
20. Nakano Y., Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts // *Plant Cell Physiol.* — 1981. — **22**, N 5. — P. 867—880.
21. Pavet V., Olmos E., Kiddle G. et al. Ascorbic acid deficiency activates cell death and disease resistance responses in arabidopsis // *Plant Physiol.* — 2005. — **139**. — P. 64—78.
22. Pignocchi C., Kiddle G., Hernandez I. et al. Ascorbate oxidase-dependent changes in the redox state of the apoplast modulate gene transcript accumulation leading to modified hormone signaling and orchestration of defense processes in tobacco // *Ibid.* — 2007. — **141**. — P. 423—435.
23. Zhang F., Shi W., Jin Z., Shen Z. Response of antioxidative enzymes in cucumber chloroplasts to cadmium toxicity // *J. Plant Nutr.* — 2003. — **26**, N 9. — P. 1779—1788.

Отримано 05.05.2008

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ МЕТАБОЛИТОВ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ В ПРОРОСТКАХ КУКУРУЗЫ ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ КАДМИЯ И НИКЕЛЯ

В.Н. Гришко, Т.А. Дедура

Криворожский ботанический сад Национальной академии наук Украины

Исследовали динамику содержания различных метаболитов аскорбиновой кислоты в листьях проростков кукурузы при совместном действии кадмия и никеля. Интенсивная аккумуляция последних отмечается уже на 7-й час стрессового влияния, а после 12 ч темпы аккумуляции металлов существенно снижаются, причем скорость накопления никеля выше, чем кадмия. Доказано, что при действии низких концентраций кадмия и никеля на протяжении 24 ч их совместного влияния содержание аскорбиновой кислоты в листьях возрастает на 25 %, тогда как повышенный уровень хотя бы одного из металлов приводит к интенсивному использованию витамина С, на что указывает повышение на 22—48 % содержания дегидроаскорбиновой и 2,3-дикетоглуоновой кислот и снижение на 40—72 % активности дегидроаскорбатредуктазы.

DYNAMICS OF THE ASCORBIC ACID METABOLITES CONTENT IN MAIZE SHOOTS
AT THE CADMIUM AND NICKEL JOINT ACTION

V.M. Grishko, T.A. Demura

Kryvyi Rig Botanic Garden, National Academy of Sciences of Ukraine
50 Marshak St., Kryvyi Rig, 50089, Ukraine

The dynamics of the different ascorbic acid metabolites in maize shoots leaves at the cadmium and nickel joint action was investigated. Intensive accumulation observed at 7 h of the stressing influence, and after 12 h — the rates of metals accumulation go down substantially, thus speed of nickel translocation was higher, than cadmium. It was shown that at the action of cadmium and nickel low concentrations for 24 h of their joint influence ascorbic acid content in leaves increases on 25 %, while increased level of even one of metals results in the intensive vitamin C utilizing, that indicates by the increase on 22—48 % of dehydroascorbate and 2,3-dicetogulonic acids contents and decrease on 40—72 % of dehydroascorbate reductase activity.

Key words: *Zea mays* L., cadmium, nickel, ascorbic acid, dehydroascorbate reductase.