

УДК 581.1:631.811.98

## ВПЛИВ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ НА РІВЕНЬ ФІЗИОЛОГІЧНОЇ АДАПТАЦІЇ ГОРОХУ ДО СТРЕСОВОГО ВПЛИВУ КАДМІЮ ТА НІКЕЛЮ

Т.А. АРТЮШЕНКО, В.М. ГРИШКО

*Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України  
50089 Кривий Ріг, вул. Маршака, 50  
e-mail: art.tatyana2@mail.ru*

Досліджували вплив регуляторів росту на стійкість рослин гороху (*Pisum sativum* L.) сортів Харківський янтарний, Харківський еталонний, Резонатор, Девіз до сумісної дії іонів кадмію та нікелю (3 і 30 мг Cd<sup>2+</sup>/л, 4 і 40 мг Ni<sup>2+</sup>/л), акумуляцію останніх у вегетативних органах, розвиток процесів пероксидного окиснення ліпідів, вміст різних форм аскорбінової кислоти. Найчутливішим до цих металів виявився сорт гороху Харківський еталонний, найвищу толерантність продемонстрували проростки гороху сорту Харківський янтарний. Протекторна функція регулятора росту емістиму С проявлялась лише в сорту Резонатор, агростимулін знижував фітотоксичність кадмію і нікелю в сортів Резонатор та Харківський еталонний. Обробка насіння агростимуліном посилювала поглинання нікелю кореневою системою і не впливала на рівень акумуляції обох металів у листках, однак істотно підвищувала рівень фізіологічної адаптації проростків унаслідок зниження інтенсивності ПОЛ, яке супроводжувалось активуванням аскорбатзалежної ланки антиоксидантного захисту.

*Ключові слова:* *Pisum sativum* L., регулятори росту, кадмій, нікель, пероксидне окиснення ліпідів, аскорбінова кислота.

В останні роки дедалі більшою мірою зростає потреба сільського господарства в препаратах, які забезпечують отримання високих урожаїв в умовах водного дефіциту, засолення ґрунтів, впливу низьких і високих температур, інших несприятливих чинників, зокрема надмірного вмісту важких металів. У зв'язку з цим набуває актуальності використання регуляторів росту для ослаблення негативного впливу останніх унаслідок підвищення стійкості рослин у результаті активування антиоксидантної системи захисту чи окремих її ланок.

Так, останнім часом активно досліджується можливість застосування регуляторів росту рослин для підвищення їх адаптаційної здатності [5, 7, 9, 13]. Зокрема встановлено, що в разі обробки протягом 16 год саліциловою кислотою проростків рису, вирощуваних на середовищі з вмістом іонів кадмію, акумулювання останнього знижувалось [18]. Паклобутразол (ретардант, який інгібує біосинтез гібереліну) також призводив до зниження його вмісту в листках 12-добових проростків рису за експозиції на розчинах CdCl<sub>2</sub> [20]. Разом з тим раніше ми довели, що регулятор росту зеастимулін посилює поглинання іонів кадмію й нікелю кореневою системою кукурудзи, але істотно (на 15 % для нікелю та вдвічі — для кадмію) знижує їх транслокацію в надземну частину рослин

[2]. Отже, потрібне подальше вивчення впливу регуляторів росту рослин на процеси поглинання і накопичення зазначених токсикантів, активування антиоксидантних систем рослин.

### Методика

Об'єктами досліджень були проростки гороху посівного (*Pisum sativum* L.) сортів Харківський янтарний, Харківський еталонний, Резонатор, Девіз. Для цього зернівки обробляли регуляторами росту емістим С та агростимулін виробництва МНТЦ «Агробіотех» НАН України і МОН України. Зернівки замочували на 8 год у розчинах регуляторів рекомендованої виробником концентрації (0,02 мл/кг насіння) [11]. Для встановлення рівня сумісного токсичного впливу кадмію й нікелю дводобові проростки гороху витримували упродовж 48 год у розчинах сульфатів кадмію й нікелю концентраціями 3 і 30 мг  $Cd^{2+}$ /л, 4 і 40 мг  $Ni^{2+}$ /л, потім вимірювали приріст головного кореня і розраховували кореневий індекс (КІ) за Уїлкінсом [21].

Кількість важких металів, інтенсивність пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ), вміст різних форм аскорбінової кислоти визначали в модельних дослідах на проростках гороху сорту Харківський янтарний, які вирощували методом водної культури на дистильованій воді. На 10-ту добу експерименту в середовище вирощування вносили важкі метали у зазначених вище концентраціях. Рослинний матеріал відбирали через 24 год після їх внесення.

Вміст кадмію й нікелю визначали на атомно-адсорбційному спектрофотометрі С-115 (Україна) за загальноприйнятими методами [8]. Інтенсивність розвитку ПОЛ оцінювали за вмістом первинних (дієнових і триєнових кон'югатів) [6] та вторинних (ТБК-активних) продуктів [10]. Вміст аскорбінової, дегідроаскорбінової та 2,3-дикетогулонової кислот у вегетативних органах рослин визначали за методом [14].

Вибірка у межах окремого варіанта дослідження для оцінювання впливу регуляторів росту на металотолерантність проростків становила 100 рослин. Аналітична повторність встановлення вмісту важких металів, продуктів ПОЛ і форм аскорбінової кислоти була чотириразовою. Експериментальні дані оброблено статистично за загальноприйнятими методами параметричної статистики на 95 %-му рівні значущості за Румшинським [12].

### Результати та обговорення

Метою первинного скринінгу було встановлення рівня чутливості районуваних у Дніпропетровській обл. сортів гороху та добір регуляторів росту, які мають максимальний захисний ефект за дії іонів кадмію й нікелю.

Згідно з експериментальними даними, іони кадмію й нікелю за спільного впливу знижують ростові показники проростків усіх досліджених сортів гороху навіть за малих концентрацій (табл. 1). Найстійкішими виявились проростки гороху сорту Харківський янтарний. Так, під впливом іонів важких металів мінімальної концентрації приріст головного кореня у них зменшувався лише на 12 %, тоді як у всіх інших сортів — на 21—31 % відносно контролю. Найвищу толерантність проростків гороху сорту Харківський янтарний підтвердили також і КІ, які становили

ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА

ТАБЛИЦЯ 1. Довжина головного кореня та кореневий індекс різних сортів гороху за дії важких металів і регуляторів росту

Варіант	Контроль $M \pm m$	3 мг $Cd^{2+}$ /л + 4 мг $Ni^{2+}$ /л		30 мг $Cd^{2+}$ /л + 40 мг $Ni^{2+}$ /л	
		$M \pm m$	КІ	$M \pm m$	КІ
Девіз					
Без регуляторів		1,99±0,07*	0,78	1,67±0,05*	0,65
Агростимулін	2,57±0,06	1,65±0,06**	0,64	1,37±0,04**	0,54
Емістим С		1,76±0,05**	0,69	1,47±0,05**	0,57
Харківський еталонний					
Без регуляторів		1,70±0,05*	0,74	1,28±0,05*	0,56
Агростимулін	2,3±0,07	2,39±0,06**	1,04	2,37±0,06**	1,03
Емістим С		2,09±0,06**	0,91	1,81±0,07**	0,79
Харківський янтарний					
Без регуляторів		2,27±0,08*	0,88	1,93±0,06*	0,75
Агростимулін	2,58±0,09	2,22±0,08	0,86	1,75±0,07	0,68
Емістим С		2,04±0,06**	0,79	1,47±0,04**	0,57
Резонатор					
Без регуляторів		2,58±0,09*	0,79	2,25±0,07*	0,69
Агростимулін	3,27±0,08	2,84±0,07**	0,87	2,40±0,07	0,73
Емістим С		2,64±0,06	0,82	2,28±0,07	0,70

Примітка. Тут і в табл. 2: \*Статистично вірогідна відмінність відносно контрольного варіанта за  $p < 0,05$ . \*\*Статистично вірогідна відмінність відносно варіанта з важкими металами без регуляторів росту за  $p < 0,05$ .

0,88 і 0,75 відповідно за мінімальної й максимальної концентрації металів і були найбільшими серед усіх досліджених сортів.

Найчутливішими до токсичного впливу металів виявились проростки гороху сорту Харківський еталонний. Так, уже за мінімальної концентрації (3 мг  $Cd^{2+}$ /л + 4 мг  $Ni^{2+}$ /л) ріст коренів пригнічувався на 26 % порівняно з рослинами контрольного варіанта. За сумісної дії токсикантів у високій концентрації приріст їх головного кореня зменшувався майже вдвічі. Найнижчу стійкість проростків сорту Харківський еталонний підтвердили й розраховані значення КІ, які становили 0,74 і 0,56 відповідно за мінімальної й максимальної концентрації металів.

У ході дослідів з'ясувалось, що екзогенні регулятори росту не завжди підвищують толерантність проростків до спільного впливу іонів кадмію та нікелю, часом вони зумовлюють ще більше гальмування росту коренів. Так, емістим С на тлі дії важких металів гальмував ріст головного кореня проростків стійкого до важких металів сорту гороху Харківський янтарний на 10—23 % більше порівняно з варіантом без регулятора. Разом з цим попередня обробка агростимуліном не впливала на стійкість цього сорту гороху (див. табл. 1).

За обробки емістимом С довжина коренів проростків гороху сорту Резонатор не змінювалась, а в сорту Девіз ефект пригнічення їх росту посилювався. Для останнього аналогічна тенденція спостерігалась також за дії агростимуліну. Такий ефект швидше за все пояснюється тим, що регулятори росту стимулюють поглинання поживних речовин про-

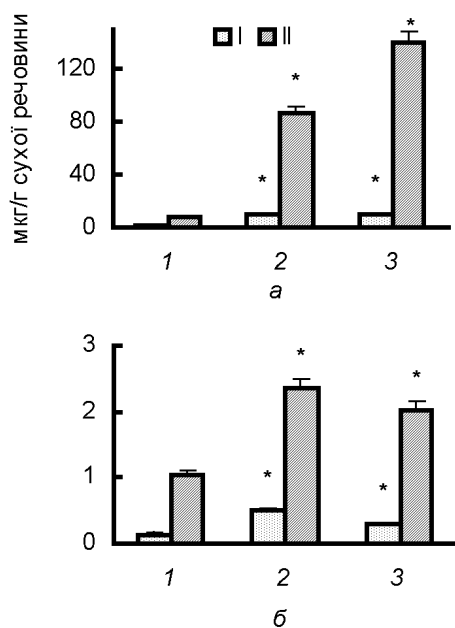
ростками стійких сортів і гібридів і тим самим посилюють надходження в них важких металів. Останні, в свою чергу, гальмують ростові процеси. Слід також зазначити, що реакція окремих сортів на дію регуляторів росту очевидно пов'язана з вмістом ендогенних фітогормонів, їх активністю, синтезом інших метаболітів, необхідних для забезпечення толерантності [5, 7, 16].

Проте обробка регуляторами росту нестійкого сорту Харківський еталонний зумовлювала протилежний ефект. Емістим С ослаблював негативний вплив важких металів у всіх варіантах дослідження на 22–40 %, обробка агростимуліном — взагалі нівелювала токсичність іонів кадмію й нікелю. Отже, за результатами скринінгу для подальшого дослідження фізіолого-біохімічних реакцій за сумісної дії кадмію й нікелю обрано толерантніший сорт гороху Харківський янтарний і найефективніший протектор від дії іонів кадмію та нікелю агростимулін.

За сумісного впливу кадмію й нікелю змінюються швидкість і напрямок фізіологічних процесів, що контролюються гормональною системою. Водночас під впливом екзогенних фітогормонів рослини швидше адаптуються до несприятливих умов росту і розвитку.

Важливим чинником, що визначає стійкість рослин до важких металів, є обмеження їх надходження до надземних частин [3–5, 14]. Згідно з результатами оцінювання акумуляції іонів кадмію й нікелю, проростки гороху накопичують значно більше токсикантів у коренях порівняно з листками (рисунок). Так, після 24-годинної експозиції на розчині сульфатів кадмію й нікелю вміст останнього в коренях проростків перевищував контрольний в 11 разів, вміст кадмію — у 6,5 раза. Для накопичення цих металів у листках тенденція була дещо іншою. За спільного впливу токсикантів рівень акумуляції кадмію в органах асиміляції порівняно з інтактними проростками був набагато вищим, ніж це спостерігалось для нікелю.

За літературними даними, вплив регуляторів росту на стійкість рослин до токсичної дії важких металів та акумуляцію останніх в органах і тканинах неоднозначний. Встановлено, що вони здатні як зменшувати, так і збільшувати вміст важких металів в органах і тканинах рослин або не впливати на їх акумуляцію й підвищувати стійкість до токсикантів [16]. Як впливає з наведених на рисунку даних, попередня обробка насіння гороху агростимуліном інтенсифікує процеси акумуляції нікелю коренями. Так,



Вміст кадмію (I) і нікелю (II) у вегетативних органах проростків гороху сорту Харківський янтарний:

а — корені; б — листки; 1 — контроль; 2 — 30 мг Cd<sup>2+</sup>/л + 40 мг Ni<sup>2+</sup>/л; 3 — 30 мг Cd<sup>2+</sup>/л + 40 мг Ni<sup>2+</sup>/л + агростимулін; \*статистично вірогідна відмінність відносно контрольного варіанта за  $p < 0,05$

за його використання на тлі високих концентрацій сполук важких металів вміст нікелю в тканинах кореня зростав більш як на 60 % порівняно з варіантом без регулятора. Однак агростимулін не впливав на поглинання кадмію і транслокацію важких металів до тканин асиміляційних органів гороху, що підтверджує відсутність статистично вірогідної відмінності між варіантами з регулятором і без нього.

Результати визначення продуктів ПОЛ дають підставу стверджувати, що сумісна дія забруднювачів істотно зміщує про-/антиоксидантну рівновагу у тканинах як листків, так і коренів проростків гороху, активує ПОЛ (табл. 2). Вміст первинних продуктів перекисації в кореневій системі гороху за дії токсикантів перевищував контрольні значення на 30 і 16 % відповідно для дієнових та триєнових кон'югатів. Хоча спільна дія металів не впливала на кількість кон'югатів у листках, у вегетативних органах рослин іони кадмію й нікелю зумовлювали підвищення рівня вторинних ТБК-активних продуктів ПОЛ відносно контролю на 71 % у коренях і на 62 % в листках.

Встановлено, що за попередньої обробки насіння гороху агростимуліном рівень дієнових кон'югатів у коренях за сумісної дії сполук кадмію й нікелю знижувався на 27 %, а в листках спостерігалась тенденція до підвищення їх рівня на 20 % порівняно з варіантом без агростимуліну. Застосування регулятора росту на тлі стресового впливу сполук важких металів статистично вірогідно не змінювало концентрацію триєнових кон'югатів, у коренях гороху частково відновлювалась порушена сумісною дією сполук кадмію й нікелю про-/антиоксидантна рівновага внаслідок зменшення вмісту ТБК-активних продуктів на 20 %

ТАБЛИЦЯ 2. Вплив важких металів та агростимуліну на вміст продуктів перекисного окиснення ліпідів і різних форм аскорбінової кислоти у вегетативних органах гороху

Показник	Контроль $M \pm m$	30 мг Cd <sup>2+</sup> /л + + 40 мг Ni <sup>2+</sup> /л $M \pm m$	30 мг Cd <sup>2+</sup> /л + + 40 мг Ni <sup>2+</sup> /л + + агростимулін $M \pm m$
Корінь			
Дієнові кон'югати, од. абсорб/г с.р.	22,0±0,13	28,6±1,62*	20,9±3,13**
Триєнові кон'югати, од. абсорб/г с.р.	11,4±0,72	13,6±0,61*	12,9±1,02
ТБК-активні продукти, мкМ МДА/мг білка	4,9±0,09	8,4±0,32*	6,9±0,27**
Аскорбінова кислота, мкг/г с.р.	17,9±0,28	13,4±0,52*	18,0±0,63**
Дегідроаскорбінова кислота, мкг/г с.р.	112,0±2,61	200,2±2,54*	190,5±9,63*
2,3-Дикетогулонова кислота, мкг/г с.р.	10,3±0,13	56,1±1,74*	72,7±0,60**
Листок			
Дієнові кон'югати, од. абсорб/г с.р.	44,4±0,25	46,4±1,91	55,7±0,59**
Триєнові кон'югати, од. абсорб/г с.р.	24,2±0,07	25,5±2,71	24,2±0,47
ТБК-активні продукти, мкМ МДА/мг білка	2,1±0,05	3,4±0,17*	1,6±0,04**
Аскорбінова кислота, мкг/г с.р.	161,3±4,76	56,2±0,84*	67,8±2,73**
Дегідроаскорбінова кислота, мкг/г с.р.	154,4±5,90	306,9±13,44*	250,0±10,33**
2,3-Дикетогулонова кислота, мкг/г с.р.	87,9±1,46	321,3±6,70*	110,8±1,49**

П р и м і т к а: од.абсорб. — одиниця абсорбції; с.р. — сира речовина.

порівняно з варіантом без регулятора, в листках — пригнічувалось утворення вторинних продуктів ПОЛ більш як у 2 рази, що на 23 % нижче від контрольного рівня.

Показником посилення пероксидного окиснення може слугувати не лише збільшення кількості продуктів ПОЛ, а й швидкість витрачання або ступінь вичерпання антиоксидантних ресурсів, що підтримують ПОЛ у фізіологічно безпечних межах [17, 19]. На думку багатьох дослідників [1, 15], за умов оксидативного стресу ефективнішим за ферментативний є захист за участю низькомолекулярних антиоксидантів. Експериментально встановлено, що за 24-годинного сумісного впливу сполук кадмію й нікелю вміст аскорбінової кислоти в коренях гороху знижувався на 25 % порівняно з рослинами контрольного варіанта, дегідроаскорбінової — збільшувався в 1,8 раза, 2,3-дикетогулонової — більш як у 5 разів (див. табл. 2).

Аналогічну тенденцію виявлено для органів асиміляції. Так, за стресової дії важких металів вміст аскорбату в листках у 2,8 раза був нижчим, як у контролі, а концентрація окиснених форм антиоксиданту перевищувала контрольну в 2—3,7 раза. Це, швидше за все, вказує на інтенсивне використання аскорбінової кислоти в реакціях знешкодження активних форм кисню та вільних радикалів, що утворюються за надмірного вмісту важких металів, унаслідок чого накопичуються окиснені метаболіти вітаміну С.

Аналізом даних вегетаційних дослідів підтверджено, що попередня обробка насіння гороху агростимуліном сприяла підвищенню концентрації аскорбінової кислоти в коренях за дії сполук важких металів до контрольного рівня. Вміст дегідроаскорбінової кислоти при цьому не змінювався, вміст 2,3-дикетогулонової — зростав, що, ймовірно, пов'язано з активуванням процесів синтезу антиоксиданту під впливом регулятора росту й інтенсивнішим його використанням в окисно-відновних реакціях.

Для листків гороху встановлено подібну закономірність. Застосування агростимуліну за сумісної дії сполук кадмію й нікелю сприяло підвищенню рівня вітаміну С на 20 % порівняно з варіантом без регулятора, який втім не досягав контрольного значення. На відміну від коренів, у листках вміст окиснених форм аскорбату істотно зменшувався. Так, концентрація дегідроаскорбінової кислоти за дії агростимуліну була на 20 % нижчою, ніж без нього, 2,3-дикетогулонової кислоти — майже втричі меншою і лише на 30 % перевищувала контрольний рівень.

Отже, аналіз отриманих даних дає підставу стверджувати, що іони кадмію й нікелю за сумісного їх впливу інгібують ріст кореневої системи проростків гороху. Найстійкішим до дії металів виявився сорт гороху Харківський янтарний, найбільш чутливим — Харківський еталонний. Встановлено специфічність дії регуляторів росту щодо ослаблення негативного впливу важких металів у різних за стійкістю сортів. Разом з цим з'ясовано, що агростимулін ефективніше зменшував негативну дію кадмію й нікелю, тоді як захисна функція емістиму С була менш вираженою.

Обробка насіння агростимуліном сприяла посиленому поглинанню нікелю кореневою системою і не впливала на рівень акумуляції обох металів у листках. Його використання істотно підвищувало фізіологічну адаптацію, зокрема сприяло відновленню про-/антиоксидантної рівно-



ваги внаслідок збільшення вмісту аскорбінової кислоти і зниження рівня її окиснених форм.

1. Антонова Г.Ф., Стасова В.В., Вараксина Т.Н. Аскорбиновая кислота и развитие клеточной системы и флоэмы в стволе сосны обыкновенной // Физиология растений. — 2009. — 56, № 2. — С. 210—219.
2. Гришко В.М., Демура Т.А. Вплив регуляторів росту на стійкість проростків кукурудзи та розвиток процесів пероксидного окиснення ліпідів і вміст аскорбінової кислоти за сумісної дії кадмію й нікелю // Физиология и биохимия культ. растений. — 2009. — 41, № 4. — С. 335—343.
3. Гришко В.М., Сищиков Д.В., Пискова О.М. та ін. Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна небезпека. — Донецьк: Донбас, 2012. — 304 с.
4. Гришко В.Н., Сыщиков Д.В. Функционирование глутатионзависимой антиоксидантной системы и устойчивость растений при действии тяжелых металлов и фтора. — К.: Наук. думка, 2012. — 240 с.
5. Колмыкова Т.С., Лукаткин А.С. Эффективность регуляторов роста растений при действии абиотических стрессовых факторов // Агрехимия. — 2012. — № 1. — С. 83—94.
6. Курганова Л.Н., Веселов А.П., Гончарова Т.А. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная система защиты в хлоропластах гороха при тепловом шоке // Физиология растений. — 1997. — 44, № 5. — С. 725—730.
7. Лукаткин А.С., Грачева Н.В., Грищенко Н.Н. Цитокининподобные препараты ослабляют повреждения растений кукурузы ионами цинка и никеля // Биохимия. — 2007. — 54, № 3. — С. 432—439.
8. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. — М.: Б.и., 1989. — 62 с.
9. Моргунов В.В., Коць С.Я., Кириченко Е.В. Ростстимулирующие ризобактерии и их практическое применение // Физиология и биохимия культ. растений. — 2009. — 41, № 3. — С. 187—206.
10. Мусієнко М.М., Паршикова Т.В., Славний П.С. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. — К.: Фітосоціоцентр, 2001. — 200 с.
11. Пономаренко С.П. Регуляторы роста растений. — Киев: Интертехнодрук, 2003. — 319 с.
12. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. — М.: Наука, 1971. — 192 с.
13. Соловьев С.В., Гераськин А.И. Влияние регуляторов роста растений на урожайность сахарной свеклы // Агрехимия. — 2012. — № 4. — С. 43—50.
14. Специальный практикум по биохимии и физиологии растений / Под ред. проф. М.М. Окунцова. — Калининград: Изд-во Калинингр. ун-та, 1981. — 37 с.
15. Спивак Е.А., Шальго Н.В. Активность аскорбат-глутатионового цикла в проростках ячменя (*Hordeum vulgare*) при засухе // Изв. НАН Беларуси. Сер. Биол. наук. — 2010. — № 3. — С. 73—77.
16. Яхин О.И., Лубянов А.А., Яхин И.А. и др. Влияние регулятора роста растений стифун на аккумуляцию кадмия проростками зерновых культур // Агрехимия. — 2011. — № 5. — С. 76—83.
17. Bartoli C.G., Tambussi E.A., Fanello D. Control of ascorbic acid synthesis and accumulation and glutathione by the incident light red/far red ratio in *Phaseolus vulgaris* leaves // FEBS Lett. — 2009. — 583. — P. 118—122.
18. Choudhury S., Panda S.K. Role of salicylic acid in regulating cadmium induced oxidative stress in *Oryza sativa* L. roots // Bulg. J. Plant Physiol. — 2004. — 30, N 3—4. — P. 95—110.
19. Foyer C.H., Noctor G. Redox regulation in photosynthetic organisms: Signaling, acclimation and practical implications // Antioxidants and Redox Signaling. — 2009. — 11. — P. 862—905.
20. Hsu Y.T., Kao C.H. Abscisic acid accumulation and cadmium tolerance in rice seedlings // Physiol. Plant. — 2005. — 124. — P. 71—80.
21. Wilkins D.A. The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth // New Phytol. — 1978. — 80, N 3. — P. 623—633.

Отримано 28.03.2013

ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА УРОВЕНЬ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ ГОРОХА К СТРЕССОВОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ КАДМИЯ И НИКЕЛЯ

Т.А. Артюшенко, В.Н. Гришко

Криворожский ботанический сад Национальной академии наук Украины

Исследовали влияние регуляторов роста на устойчивость растений гороха (*Pisum sativum* L.) сортов Харьковский янтарный, Харьковский эталонный, Резонатор, Девиз к совместному воздействию ионов кадмия и никеля (3 и 30 мг  $Cd^{2+}$ /л, 4 и 40 мг  $Ni^{2+}$ /л), аккумуляцию последних в вегетативных органах, развитие процессов пероксидного окисления липидов, содержание различных форм аскорбиновой кислоты. Наиболее чувствительным к этим металлам оказался сорт гороха Харьковский эталонный, наивысшую толерантность продемонстрировали проростки гороха сорта Харьковский янтарный. Протекторная функция регулятора роста эместима С проявлялась только у сорта Резонатор, агростимулин существенно снижал фитотоксичность кадмия и никеля у сортов Резонатор и Харьковский эталонный. Обработка семян агростимулином усиливала поглощение никеля корневой системой и не влияла на уровень аккумуляции обоих металлов в листьях, однако существенно повышала уровень физиологической адаптации проростков вследствие снижения интенсивности ПОЛ, которое сопровождалось активацией аскорбатзависимого звена антиоксидантной защиты.

EFFECT OF GROWTH REGULATORS ON PHYSIOLOGICAL ADAPTATION LEVEL OF PEA TO STRESS INFLUENCE OF CADMIUM AND NICKEL

T.A. Artiushenko, V.M. Gryshko

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

The effects of growth regulators on the resistance of pea (*Pisum sativum* L.) cultivars Kharkovski yantarni, Kharkovski etalonni, Resonator and Deviz to the joint action of cadmium and nickel ions (3 or 30 mg  $Cd^{2+}$ /l and 4 or 40 mg  $Ni^{2+}$ /l), their accumulation in the vegetative organs, the development of lipid peroxidation and the content of different forms of ascorbic acid were investigated. The most sensitive to these metals was cultivar Kharkovski etalonni, and the highest tolerance was demonstrated by Kharkovski yantarni. The protective function of the growth regulator emistim C observed only for a cultivar Resonator, while agrostimulin mostly substantially reduce phytotoxicity of cadmium and nickel for the cultivars Kharkovski etalonni and Resonator. Treatment of seeds by agrostimulin enhanced the absorption of nickel by roots and does not affect the accumulation of both metals in the leaves, but significantly increased the level of physiological adaptation of seedlings by reducing the intensity of lipid peroxidation, which was accompanied by activation of ascorbic acid-dependent link of antioxidant protection.

*Key words:* *Pisum sativum* L., growth regulators, cadmium, nickel, lipid peroxidation, ascorbic acid.