

Д.В. СИЩИКОВ

Криворізький ботанічний сад НАНА України,
вул. Маршака, 50, м. Кривий Ріг, 50089

**ЗМІНИ РОСТОВИХ ПОКАЗНИКІВ ГОРОХУ ТА СОЇ
ЗА ДІЇ СПОЛУК КАДМІЮ**

ключові слова: проросток, горох, соя, біоморфометричні показники, кадмій сірчаноокислий, кадмій хлористий

key words: shoot, pea, soya, biomorphometrical indexes, cadmium sulphate, cadmium chloride

D.V. SYSHCHIKOV

**PEA AND SOYA GROWTH INDEXES CHANGES AT THE ACTION OF
CADMIUM COMPOUNDS**

Kryvyi Rig Botanical Garden NAS of Ukraine
50 Marshaka Str., Kryvyi Rig, 50089, Ukraine

The influence of cadmium sulphate and chloride in concentrations 10^{-5} and 10^{-6} M on growth and development 6- and 10-day time shoots of pea sowing and soya cultural was investigated. It was investigated modifications of hypocotyl, epicotyl, stalk and root length, sizes of a leaf plate, amount of the side roots, leaves and mass of an overgrown and underground part of shoots. It was established, that the cadmium in heightened concentrations essentially inhibits all growth processes, and in lower concentrations, on an incipient state of action, the development of a rooted system and hypocotyl brakes. On shoots of peas cadmium compounds yield the greater toxic effect, than on soya. It was considered the different toxic operation of cadmium chloride and sulphate on an leaves amount and relation of a shoot parts mass.

Серед численних забруднювачів довкілля особливе місце займають важкі метали, оскільки вважається, що з числа хімічних елементів вони є найтоксичнішими для рослин. Проте, вірніше вести мову не про „токсичність” елементів, а про їх токсичні концентрації. Не зважаючи на цей момент, існує група металів першої групи токсичності (ртуть, кадмій та свинець), за якими закріплено визначення „важкі” в сенсі „токсичні” [1].

Порівняно із переважною більшістю важких металів, кадмію притаманний доволі високий ступінь рухомості, оскільки він ефективно поглинається як кореневою системою, так і листками рослин. Високий вміст кадмію зумовлює затримку росту, пошкодження кореневої системи, хлороз листків, збільшення відношення маси надземної частини до кореневої системи тощо [7-9]. Окрім цього, кадмій у багатьох біохімічних реакціях здатний заміщати необхідний рослинам цинк [5]. Тому метою даної роботи є вивчення впливу солей кадмію на деякі ростові показники рослин гороху та сої, що культивуються для господарських потреб.

Об'єкти та методи досліджень

Експерименти проводили на проростках сої сорту Аметист і гороху сорту Норд, які вирощували на дистильованій воді зі вмістом Cd^{2+} в концентраціях 10^{-5}M (висока) та 10^{-6}M (низька). Джерелом важких металів були сірчано-кислі та хлористі солі кадмію (CdSO_4 і CdCl_2). Рослини вирощували за природного рівня освітленості й за температури $+25^\circ\text{C}$. Вимірювання біоморфометричних показників проводили у 6 і 10-добових проростків відповідно до загальноприйнятих методів [2, 3]. Статистичну обробку експериментальних даних проводили за методами параметричної статистики на 95% рівні значимості за Б.О.Доспеховим та О.О.Єгоршиним [3; 4].

Результати досліджень та їх обговорення

Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що за дії сполук кадмію на рослини сої має місце тенденція щодо інгібування ростових процесів у 6- та 10-добових проростків (Рис. 1). Вивчення впливу різних солей кадмію на зміну біоморфометричних показників дозволило встановити його специфічність. Так, на початковому етапі стресової дії, використання низької концентрації сульфату кадмію порівняно з хлоридом, призводило до більшого статистично достовірного інгібіційного впливу на довжину головного кореня та масу сирої речовини підземної частини проростків, у той час як останній спричиняв вищий рівень стимуляції подовження епикотилля, ніж сульфат (рис., г). Підвищення концентрації токсиканту, зокрема його сірчано-кислої солі, призводило до значного негативного впливу на ріст епикотилля, тоді як хлорид істотніше гальмував процеси росту головного кореня. У 10-добових проростків, із високим вмістом сполук кадмію в середовищі вирощування, сульфат кадмію головним чином пригнічував ріст епикотилля. Отже, виконані дослідження не дають можливості стверджувати про істотніший токсичний ефект будь-якої з використаних солей кадмію на переважну частину вивчених біоморфометричних параметрів.

Найчутливішими до негативної дії солей кадмію на 6-ту добу експерименту були ростові показники довжини головного кореня і кількості бокових коренів. Так, за дії високої та низької концентрацій сульфату кадмію, довжина головного кореня зменшилася відповідно на 70 і 62%, а під впливом аналогічних концентрацій хлориду кадмію – на 75 і 54% (рис., а). Застосовані в експерименті солі кадмію однаково впливали на зміну кількості бокових коренів. Так, за вирощування сої на середовищі із низьким вмістом сульфату і хлориду кадмію, кількість бокових коренів у проростків знижувалася більше ніж на 20%, а за дії їх високих концентрацій – на 60% (рис., в). Слід зазначити, що чутливість кореневої системи рослин до забруднення не є видоспецифічною ознакою. У сучасній науковій літературі наводяться дані, які свідчать про інгібіційну дію кадмію на ріст коренів рослин у доволі широкому діапазоні концентрацій. Зокрема, N.Shrotria et al. [12] та D.Nagiub et al. [11] відзначали зниження довжини коренів сорго, нуту та інших зернових культур при вмісті кадмію у ґрунті від 10 мг/кг до $1 \times 10^{-6}\text{M}$.

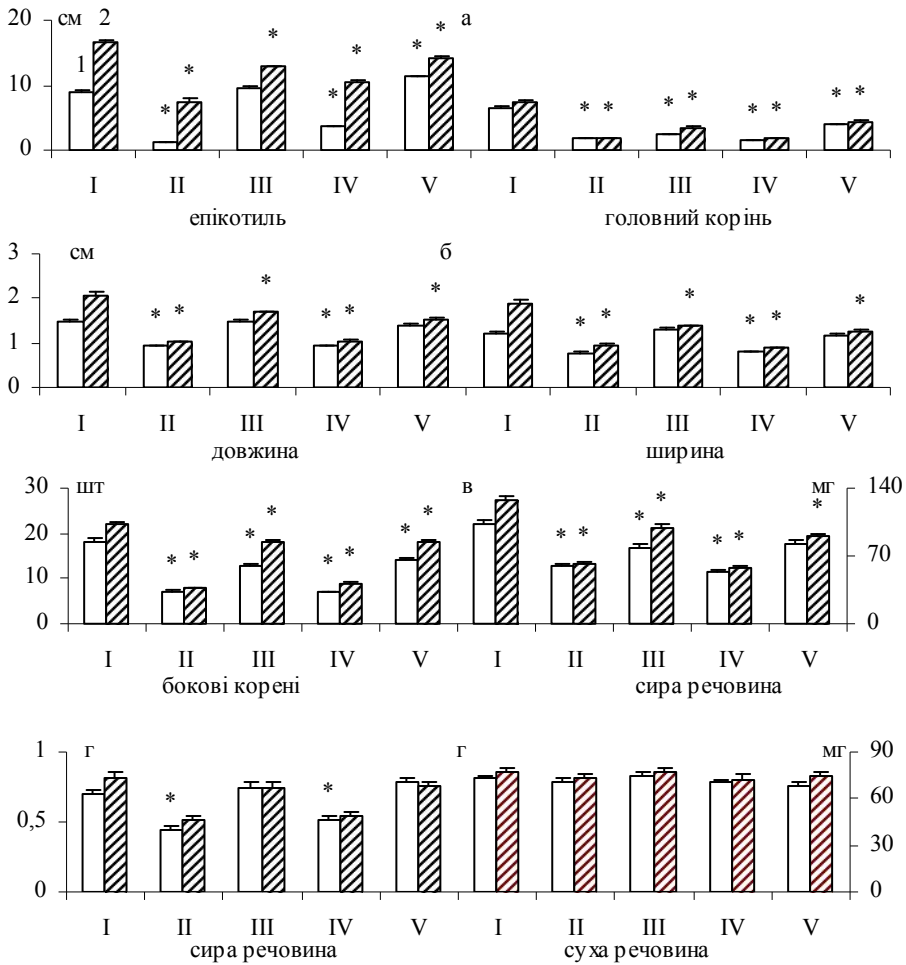


Рис. Біоморфометричні показники проростків сої за дії сполук кадмію: 1 – 6-та доба; 2 – 10-та доба; I – контроль; II – $\text{CdSO}_4 \cdot 10^{-5}\text{M}$; III – $\text{CdSO}_4 \cdot 10^{-6}\text{M}$; IV – $\text{CdCl}_2 \cdot 10^{-5}\text{M}$; V – $\text{CdCl}_2 \cdot 10^{-6}\text{M}$; а – довжина епікотиля та головного кореня (см); б – довжина та ширина листка (см); в – кількість бокових коренів (шт.) та маса сирої речовини кореневої системи (мг); г – маса сирої (г) та сухої речовини (мг) надземної частини проростка; * – статистично достовірна різниця відносно контролю, $p < 0,05$.

У 10-добових проростків сої під впливом сполук кадмію найбільше пригнічувалися розміри листової пластинки, довжина головного кореня та маса підземної частини. Довжина листової пластинки у рослин, вирощених на середовищі з високим і низьким вмістом сірчаноокислого кадмію, становила 49 і 81% відповідно до контролю. Схожим чином змінювалася й ширина листової пластинки (рис., б). Поряд з цим, при внесенні у поживне середови-

ще високої концентрації токсиканту, в проростків закладалося на 30% менше листків, ніж у контрольних умовах. На нашу думку, це є специфічною реакцією рослин за відношенням до сульфату кадмію, тоді як хлористий кадмій не впливає на кількість листків на пагоні.

Необхідно відзначити, що дія солей кадмію на зміну довжини епикотіля була неоднозначною. Так, у варіантах дослідів із підвищеною концентрацією сульфату і хлориду кадмію для 6-добових проростків спостерігалось статистично достовірне інгібування росту епикотіля (на 85 і 60% відповідно), тоді як за низької концентрації мала місце стимуляція росту, що була статистично достовірною у проростків, вирощених на середовищі із хлористим кадмієм (рис., а). На 10-ту добу експерименту стимуляційний ефект низької концентрації змінювався на зменшення довжини епикотіля на 15-20%.

За дії сполук кадмію на проростки гороху спостерігався більш виражений інгібіційний ефект порівняно із рослинами сої. На початковому етапі стресового впливу найбільший негативний ефект проявлявся у зміні довжини головного кореня і кількості бокових коренів (табл. 1).

Проведені дослідження свідчать, що у 10-добових проростків гороху до найчутливіших показників можна зарахувати довжину стебла і головного кореня, кількість бокових коренів, сиру і суху масу підземної частини. Так, при вирощуванні рослин на середовищі з високим та низьким вмістом солей кадмію, довжина кореня і стебла зменшувалася на 25-85%, а кількість закладених бокових коренів – на 45-90%. У той же час, зміна морфометричних показників кореневої системи призводить до істотного зменшення маси підземної частини проростка. Наявні експериментальні дані дозволяють констатувати, що дія різних концентрацій солей призводила до зниження маси сухої речовини підземної частини 10-добових проростків гороху на 48-94% (табл. 2). На відміну від рослин сої, зменшення кількості закладених листків гороху спостерігалось вже на 6-ту добу експерименту. Разом з цим, у 10-ти добових проростків навіть мінімальна концентрація хлориду і сульфату кадмію призводила до зменшення кількості листків на 25%, а у варіантах дослідів із високою концентрацією зазначених вище солей – у 2 рази.

Кадмієве забруднення зумовлює пригнічення розвитку всіх компонентів асиміляційного апарату гороху. Так, дані отримані С.С. Костишиним зі співавторами [6], свідчать, що у проростків, вирощених на середовищі із вмістом $2,6 \times 10^{-6}$ М хлористого кадмію, ширина і довжина прилистків знижувалася в середньому на 30%. Необхідно відзначити, що для проростків гороху на початковому етапі стресової дії токсичний ефект, який сполуки кадмію здійснюють на довжину гіпокотіля, практично не залежав ні від концентрації токсиканту, ані від аніона. В усіх варіантах дослідів довжина гіпокотіля зменшувалася в середньому на 30%. Проте, у 10-добових проростків довжина гіпокотіля знижувалася із збільшенням концентрації кадмію у середовищі вирощування.

Таблиця 1.

Біоморфометричні показники 6-добових проростків гороху за дії CdCl₂ та CdSO₄, n = 50

Показник	Контроль	CdCl ₂		CdSO ₄	
	M ± m	M ± m	% до контролю	M ± m	% до контролю
Довжина гіпокотила, см	1,27 ± 0,05	<u>0,79 ± 0,02*</u> 0,99 ± 0,05*	<u>62,2</u> 78,0	<u>0,95 ± 0,04*</u> 1,0 ± 0,03*	<u>74,8</u> 78,7
Довжина стебла, см	2,6 ± 0,13	<u>1,15 ± 0,08*</u> 2,8 ± 0,16	<u>44,2</u> 107,7	<u>0,83 ± 0,09*</u> 2,17 ± 0,1*	<u>31,9</u> 83,5
Довжина головного кореня, см	7,51 ± 0,82	<u>1,82 ± 0,12*</u> 6,39 ± 0,56	<u>24,2</u> 85,1	<u>1,32 ± 0,04*</u> 4,57 ± 0,28*	<u>17,6</u> 60,9
Кількість бокових коренів, шт.	22,0 ± 2,0	<u>3,0 ± 1,0*</u> 16,0 ± 1,0*	<u>13,6</u> 72,7	<u>5,0 ± 1,0*</u> 14,0 ± 1,0*	<u>22,7</u> 63,6
Довжина листової пластинки, см	1,32 ± 0,05	<u>0,8 ± 0,03*</u> 1,25 ± 0,03	<u>60,6</u> 94,7	<u>0,55 ± 0,02*</u> 1,19 ± 0,04*	<u>41,7</u> 90,2
Ширина листової пластинки, см	0,98 ± 0,03	<u>0,63 ± 0,03*</u> 0,95 ± 0,03	<u>64,3</u> 96,9	<u>0,41 ± 0,02*</u> 0,92 ± 0,03	<u>41,8</u> 93,9
Маса сухої речовини надземної частини, мг	70,1 ± 6,42	<u>98,25 ± 3,58*</u> 63,12 ± 1,82	<u>140,2</u> 90,0	<u>137,52 ± 12,2*</u> 86,36 ± 4,67*	<u>196,2</u> 123,2
Маса сухої речовини підземної частини, мг	13,3 ± 1,67	<u>2,69 ± 0,36*</u> 11,9 ± 0,72	<u>20,2</u> 89,5	<u>2,21 ± 0,72*</u> 9,24 ± 0,4*	<u>16,6</u> 69,5
Маса сирої речовини надземної частини, г	0,42 ± 0,03	<u>0,41 ± 0,01</u> 0,46 ± 0,02	<u>97,6</u> 109,5	<u>0,41 ± 0,02</u> 0,49 ± 0,03	<u>97,6</u> 116,7
Маса сирої речовини підземної частини, мг	147,5 ± 7,93	<u>27,33 ± 2,4*</u> 146,4 ± 8,75	<u>18,5</u> 99,3	<u>28,67 ± 4,67*</u> 105,5 ± 7,09*	<u>19,4</u> 71,5

Примітка: тут і в таблиці 2 над ризикою значення за концентрації Cd²⁺ 10⁻⁵ М, під ризикою – 10⁻⁶ М, * – статистично достовірна різниця відносно контролю, p<0,05.

Таблиця 2.

Біоморфометричні показники 10-добових проростків гороху за дії CdCl₂ та CdSO₄, n = 50

Показник	Контроль	CdCl ₂		CdSO ₄	
	M ± m	M ± m	% до контролю	M ± m	% до контролю
Довжина гіпокотила, см	1,66 ± 0,04	<u>0,89 ± 0,05*</u> 1,15 ± 0,04*	<u>53,6</u> 69,3	<u>0,96 ± 0,04*</u> 1,24 ± 0,05*	<u>57,8</u> 74,7
Довжина стебла, см	11,08 ± 0,41	<u>2,14 ± 0,07*</u> 10,01 ± 0,18*	<u>19,3</u> 90,3	<u>1,78 ± 0,09*</u> 9,08 ± 0,2*	<u>16,1</u> 81,9
Довжина головного кореня, см	14,94 ± 0,57	<u>2,05 ± 0,08*</u> 11,26 ± 0,5*	<u>13,7</u> 75,4	<u>2,22 ± 0,14*</u> 8,25 ± 0,49*	<u>14,9</u> 55,2
Кількість бокових коренів, шт.	36,0 ± 2,0	<u>4,0 ± 0*</u> 16,0 ± 1,0*	<u>11,1</u> 44,4	<u>3,0 ± 0*</u> 20,0 ± 1,0*	<u>8,3</u> 55,6
Довжина листової пластинки, см	2,0 ± 0,05	<u>0,99 ± 0,04*</u> 1,9 ± 0,03	<u>49,5</u> 95,0	<u>0,54 ± 0,02*</u> 1,92 ± 0,05	<u>27,0</u> 96,0
Ширина листової пластинки, см	1,7 ± 0,04	<u>0,77 ± 0,04*</u> 1,63 ± 0,03	<u>45,3</u> 95,9	<u>0,39 ± 0,02*</u> 1,53 ± 0,05*	<u>22,9</u> 90,0
Маса сухої речовини надземної частини, мг	90,13 ± 9,83	<u>135,5 ± 23,11</u> 71,84 ± 5,5	<u>150,3</u> 79,7	<u>159,61 ± 15,3*</u> 93,69 ± 9,79	<u>177,1</u> 103,9
Маса сухої речовини підземної частини, мг	31,63 ± 3,54	<u>2,11 ± 0,16*</u> 21,39 ± 1,33*	<u>6,7</u> 67,6	<u>1,89 ± 0,26*</u> 16,55 ± 2,49*	<u>6,0</u> 52,3
Маса сирої речовини надземної частини, г	0,74 ± 0,05	<u>0,48 ± 0,03*</u> 0,67 ± 0,02	<u>64,9</u> 90,5	<u>0,51 ± 0,02*</u> 0,66 ± 0,06	<u>68,9</u> 89,2
Маса сирої речовини підземної частини, мг	478,5 ± 44,6	<u>30,76 ± 2,4*</u> 334,5 ± 5,12*	<u>6,4</u> 69,9	<u>25,0 ± 2,52*</u> 219,3 ± 12,24*	<u>5,2</u> 45,8

Визначення статистичної достовірності впливу солей на біоморфометричні показники гороху дозволило встановити, що в усіх варіантах дослідження використання сірчанокислового кадмію призводить до більшого інгібіційного ефекту щодо довжини стебла і головного кореня, ніж хлориду. Аналогічна залежність у зміні параметрів листової пластинки спостерігається лише за дії підвищеної концентрації використаних солей. Разом з цим, в експериментах С.С.Ліє показано, що хлористий кадмій ефективніше, ніж сульфат, пригнічував ріст коренів проростків рису, але не впливав на зростання стебла [10].

Аналіз експериментальних даних дозволив встановити, що зі збільшенням концентрації металу і тривалості його дії співвідношення маси надземної частини проростку до маси його підземної частини зростає більш ніж в 30 разів, що свідчить про істотний негативний вплив токсиканта на кореневу систему рослин, ніж на надземну частину. Разом з цим, необхідно відзначити, що висока концентрація сульфату кадмію, порівняно з аналогічною концентрацією хлориду, призводить до більшого зростання співвідношення маси сухої речовини надземної і підземної частини проростків гороху. Так, на 6-ту добу експерименту це співвідношення у рослин на середовищі із вмістом $\text{CdCl}_2 \cdot 10^{-5}\text{M}$, становило 36,5, а за дії аналогічної концентрації CdSO_4 – 62,2. Із продовженням тривалості стресового впливу цей ефект був виражений яскравіше, а співвідношення становило – 64,2 і 84,5 відповідно. Для рослин сої не виявлено значного ефекту впливу будь-якої з використаних солей. Так, для 10-добових проростків у варіантах експериментів із високою концентрацією сульфату і хлориду кадмію значення співвідношення мас сухої речовини практично не відрізнялися (10,7 і 11,2 відповідно).

Унаслідок проведених досліджень можна констатувати, що найбільший токсичний ефект на ростові показники сої і гороху спричиняє висока концентрація сульфату і хлориду кадмію за більшої тривалості дії. Разом з цим, за більшістю з досліджених біоморфометричних параметрів, рослини гороху виявилися менш стійкими до негативного впливу сполук кадмію, порівняно із соєю. Показано, що внесення до середовища вирощування хлориду і сульфату кадмію призводило до різного токсичного ефекту на кількість листків та співвідношення маси частин проростків.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Алексеев Ю.В.** Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 142 с.
2. **Большой** практикум по физиологии растений / И.А.Чернавина, Н.Г.Потапов, Л.Г.Косулина, Т.Е.Кренделева / Под ред. Б.А.Рубина. – М.: Высш. школа, 1978. – 408 с.
3. **Доспехов Б.А.** Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
4. **Єгоршин О.О., Лісовий М.В.** Математичне планування польових дослідів та статистична обробка експериментальних даних. – Харків: Вид-во Ін-ту ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н.Соколовського, 2005. – 193 с.
5. **Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.** Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
6. **Костышин С.С., Руденко С.С., Тевтуль Я.Ю.** Исследование влияния селенита натрия на рост метаморфизированных частей листьев у проростков гороха

при действии соединений алюминия и кадмия // Физиол. и биохимия культ. растений. – 1999. – Т. 31, № 5. – С. 377-381.

7. Мельничук Ю.П. Влияние ионов кадмия на клеточное деление и рост растений. – К.: Наукова думка, 1990. – 148 с.

8. Руденко С.С. Исследование влияния селенита натрия на рост и развитие стебля и корней проростков гороха посевного при действии соединений алюминия и кадмия // Физиол. и биохимия культ. растений. – 1999. – Т. 31, № 3. – С. 233-237.

9. Lagriffoul A., Mocquot B., Mench M., Vangronsveld J. Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and activities of stress related enzymes in young maize plants (*Zea mays* L.) // Plant and Soil. – 1998. – Vol. 200, № 2. – P. 241-250.

10. Lee C.S., Huei K.C. Glutathione reduced the inhibition of rice seedling root growth caused by cadmium // Plant Growth Regul. – 1995. – Vol. 16, № 3. – P. 249-252.

11. Nagiub D., Hamed A., Wakeel A. Effect of cadmium on growth criteria of some crop plants // Egypt. J. Bot. – 1986. – № 1-3. – P. 1-12.

12. Shrotria N., Joshi J.K., Mukhita Y.K. Extent of damage caused by root and foliar uptake of cadmium on seedlings growth, chlorophyll content and stomatal opening of two crops viz. sorghum and gram // Nat. Acad. Sci. Lett. – 1982. – Vol. 5, № 3. – P. 81-86.