

**ВПЛИВ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ КАДМІЄМ НА ЕЛЕМЕНТНИЙ ХІМІЧНИЙ СКЛАД
РОСЛИН СУНИЦІ АНАНАСНОЇ
(*FRAGARIA ANANASSA DUCH.*)**

*Т. Лозовицька, к.с.-г.н., О. Мазурак, к.т.н., О. Шкумбатюк, к.вет.н.
Львівський національний аграрний університет*

Ключові слова: кадмій, забруднення ґрунту, елементний хімічний склад, суниця.
Key words: cadmium, soil pollution, element chemical content, strawberry-plant.

The article presents the results of research of violations in the chemical content of different parts of strawberry-plants (*Fragaria ananassa Duch.*) growing on polluted with cadmium soils. Peculiarities of absorption and distribution of cadmium in the roots, leaves and berries were analyzed. It was observed 3-7 decrease of Cd^{2+} ions concentrations in above-ground organs in comparison with concentration in roots. It was established that cadmium competes with essential elements (Zn, Fe, K) in the plant organism in that way disturbing their absorption. Cadmium intensifies lead absorption.

Постановка проблеми. Токсичність важких металів, винятково сильний їх вплив на біосферу пояснюють зв'язком між біологічною активністю, будовою та структурою елементів у періодичній системі. Емпірично встановлений факт зменшення в живому організмі вмісту хімічного елемента із збільшенням його атомної маси [7]. Тобто, біологічна роль хімічних елементів є періодичною функцією їх атомної маси [5; 7].

Кадмій як важкий метал належить до елементів слабого [9] або навіть дуже слабого біологічного поглинання [12]. Наявність цього елемента у ґрунті, ґрунтового розчині, достатньо висока рухомість зумовлюють легку його транслокацію в рослини.

Кадмій не є есенціальним елементом. Вилучення його з поживного середовища не зумовлює порушень життєдіяльності організму [5; 8]. Однак, наявність кадмію в живій тканині призводить до залучення в метаболічні процеси. Цьому сприяє подібність у хімічній будові з деякими життєво необхідними елементами. Потрапляючи в рослинний організм, кадмій впливає на функціонування практично всіх фізіологічно важливих систем. Його дія багатопланова і складна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Забруднення ґрунтів важкими металами та їх надходження в рослини в значних кількостях порушує вміст і співвідношення біогених елементів у рослинах [1; 3; 5; 10; 11]. У разі високого рівня вмісту кадмію в рослинних тканинах змінюється вміст Ca, Mn, Cu, Mo, P. Передусім це стосується листя, менше – насіння [1; 3; 10]. Згідно з даними [12] кадмій значно пригнічує поглинання коренями калію, витісняє його з орґаноїдів клітини, затримує пересування заліза в надземну частину, є антагоністом цинку. Відзначено конкуруючу взаємодію кадмію і марганцю як у фракції органел, так і в розчинній цитоплазматичній фракції [6]. Вказують на паралелізм між пересуванням і локалізацією в рослинах кадмію і кальцію [11].

Постановка завдання. Зважаючи на фрагментарність даних щодо змін хімічного складу рослин, вирощених в умовах забруднення ґрунтів кадмієм, і важливість таких досліджень для прогнозування екологічної якості рослинницької продукції, завданням нашої роботи стало визначити вплив різних рівнів забруднення кадмієм ґрунтів Західного Лісостепу України на надходження макро- та мікроелементів до тест-рослин.

Виклад основного матеріалу. Для вивчення питань, поставлених у роботі, проводили мікроділянкові польові дослідження на двох типах ґрунтів Західного Лісостепу України, що різко різняться за фізико-хімічними та буферними властивостями: ясно-сірий лісовий крупнопилувато-супіщаний та чорнозем опідзолений крупнопилувато-легкосуглинковий. У дослідженнях змін хімічного складу, що проходять у рослинному організмі під дією токсиканта, тест-культурою була суниця ананасна (*Fragaria ananassa Duch.*).

Рослини суниці висаджували на штучно забруднений іонами Cd^{2+} ґрунт. Як забруднювач використали сіль $CdCl_2 \cdot 2,5H_2O$, яку внесли на глибину 0-20 см у кількостях 1, 5, 10 ГДК валових форм кадмію [4]. У ґрунт контрольних варіантів сіль кадмію не вносили.

В умовах польових та лабораторних дослідів проводилось вивчення процесів поглинання і

транспорту іонів кадмію, свинцю, цинку, заліза, калію в рослинах. Концентрацію важких металів, мікро- та макроелементів у коренях, листках і плодах суниці визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії за допомогою приладу С115М. Підготовку матеріалу здійснювали методом сухого озолення. Похибка приладу не перевищує 7%.

Математичну обробку даних проводили за допомогою регресійного аналізу з використанням програмного пакету “Statistica” для персональних комп’ютерів.

Рослини суниці, вирощені на ґрунті з надлишком кадмію, нагромаджували іони цього металу (табл. 1). Порівнюючи окремі частини рослин за здатністю до нагромадження кадмію, виявили, що найбільша акумуляція цього металу властива кореням. Додаткове внесення кадмію в ґрунт спричинило істотне зростання його вмісту в коренях: у 6 – 67 разів на ясно-сірому ґрунті та у 2 – 32 рази на чорноземі опідзоленому.

Іони Cd^{2+} активно надходили з ґрунту через кореневу систему, а далі в листя. Співвідношення концентрацій кадмію в листках до концентрацій у коренях: на ясно-сірому ґрунті 26,1 – 34,9%, а на чорноземі опідзоленому 14,3 – 26,5% від концентрації в коренях.

Кадмій нагромаджувався в плодах суниці за усіх досліджуваних рівнів забруднення ґрунту: концентрація металу зросла в 2,6 – 9,4 раза на ясно-сірому ґрунті та 1,4 – 4,3 раза на чорноземі опідзоленому.

Таблиця 1

Нагромадження та розподіл кадмію в рослинах суниці, вирощених на забрудненому цим металом ґрунті, мг/кг маси сухої речовини

Варіант	Корені	Листки	Плоди
Контроль	$1,28 \pm 0,09^1$ $1,35 \pm 0,09$	$0,10 \pm 0,01$ $0,12 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0,01$ $0,08 \pm 0,01$
1 ГДК Cd^{2+}	$7,75 \pm 0,58^{**}$ $3,14 \pm 0,33$	$2,13 \pm 0,16^{**}$ $0,47 \pm 0,04^{**}$	$0,21 \pm 0,02^{**}$ $0,11 \pm 0,02$
5 ГДК Cd^{2+}	$36,20 \pm 3,84$ $19,85 \pm 1,72^{**}$	$12,64 \pm 1,25^*$ $4,13 \pm 0,87$	$0,33 \pm 0,04^{**}$ $0,22 \pm 0,02$
10 ГДК Cd^{2+}	$85,40 \pm 9,06$ $43,40 \pm 4,02^*$	$22,32 \pm 2,04$ $11,52 \pm 0,95^*$	$0,75 \pm 0,05^{**}$ $0,34 \pm 0,03$

Примітки: у чисельнику – ясно-сірий лісовий ґрунт, у знаменнику – чорнозем опідзолений; * – $P < 0,5$; ** – $P < 0,25$.

Забруднення ґрунтів кадмієм та його надходження в рослини у значних кількостях призводить до порушень у поглинанні інших хімічних елементів. Впливом кадмію зумовлені зміни вмісту ультрамікроелементів (свинцю), мікроелементів (цинк, залізо), макроелементів (калій) (табл. 2).

Надлишок кадмію в ясно-сірому ґрунті зумовив надходження іонів свинцю в рослини суниці. У межах дослідних варіантів концентрація свинцю перевищувала контроль у коренях на 19 – 65%, у листках – на 22 – 44%, у плодах – на 13 – 48%. На чорноземі опідзоленому чіткої закономірності у підвищенні концентрації свинцю в рослинах із зростанням рівня забруднення кадмієм не виявлено. Очевидно, це пов’язано з малою рухомістю іонів Pb^{2+} на даному типі ґрунту.

Відзначене явище синергічної взаємодії між свинцем і кадмієм чіткіше проявлялось на ґрунті з малою геохімічною ємністю – ясно-сірому лісовому. Фізико-хімічні властивості цього типу ґрунту сприяють значній рухомості важких металів та їх доступності для поглинання рослинами. Синергізм між свинцем і кадмієм виникає, ймовірно, внаслідок руйнування фізіологічних бар’єрів під впливом стресу, спричиненого надлишковими концентраціями важких металів у рослинних тканинах [5; 11].

Кадмієве забруднення ґрунту зумовило порушення у поглинанні цинку. На ясно-сірому ґрунті його концентрація в коренях зменшувалась на 9 – 22%, а на чорноземі опідзоленому – на 2 – 9% порівняно з контролем. Тенденція до послаблення надходження цинку в надземну частину зі зростанням рівня забруднення ґрунту збереглась для рослин на ясно-сірому ґрунті: різниця до контролю становила 5 – 12%.

Таблиця 2

Вплив забруднення ґрунту кадмієм на надходження свинцю, цинку, заліза та калію в рослини суниці, мг/кг сухої речовини

Варіант	Pb	Zn	Fe	K
<i>корені</i>				
Контроль	<u>4,1±0,11¹</u>	<u>27,6±2,4</u>	<u>1553,8±144,3</u>	<u>975,0±87,7</u>
	3,8±0,40	24,5±1,8	1489,5±131,2	986,3±86,2
1 ГДК Cd ²⁺	<u>5,9±0,47</u>	<u>25,0±2,1</u>	<u>1633,1±146,7</u>	<u>713,8±49,8*</u>
	4,2±0,36	23,7±1,7	1509,2±129,5	972,5±84,3
5 ГДК Cd ²⁺	<u>9,5±0,58**</u>	<u>22,2±1,9</u>	<u>1524,0±106,7</u>	<u>578,2±46,3*</u>
	3,7±0,25	23,9±2,1	1492,8±141,6	940,4±81,0
10 ГДК Cd ²⁺	<u>11,5±0,81**</u>	<u>21,5±1,7*</u>	<u>1508,2±135,7</u>	<u>551,7±44,1*</u>
	4,0±0,29	22,2±1,9	1465,6±135,5	889,6±72,5
<i>листки</i>				
Контроль	<u>0,90±0,04</u>	<u>11,0±0,76</u>	<u>89,1±7,1</u>	<u>1164,4±104,8</u>
	0,86±0,06	12,3±0,95	90,2±7,9	1129,6±105,2
1 ГДК Cd ²⁺	<u>1,4±0,11</u>	<u>10,4±0,82</u>	<u>82,8±6,3</u>	<u>844,8±59,1*</u>
	0,90±0,08	13,1±1,1	87,4±8,2	1056,3±92,4
5 ГДК Cd ²⁺	<u>1,9±0,17</u>	<u>9,6±0,71*</u>	<u>79,9±6,9</u>	<u>777,5±68,7</u>
	0,91±0,07	12,2±0,98	87,9±8,2	985,9±86,5
10 ГДК Cd ²⁺	<u>2,2±0,21</u>	<u>7,9±0,65</u>	<u>75,3±5,4*</u>	<u>667,3±53,0</u>
	0,94±0,08	11,8±0,94	82,5±7,5	942,5±87,4
<i>плоди</i>				
Контроль	<u>0,81±0,07</u>	<u>8,4±0,58</u>	<u>59,3±3,6</u>	<u>1187,0±83,1</u>
	0,74±0,04	8,9±0,72	54,5±4,9	1165,9±102,2
1 ГДК Cd ²⁺	<u>0,92±0,08</u>	<u>8,1±0,49</u>	<u>40,6±3,8</u>	<u>1193,8±102,2</u>
	0,71±0,05	9,1±0,83	52,6±4,6	1102,3±94,9
5 ГДК Cd ²⁺	<u>1,0±0,09</u>	<u>7,9±0,63</u>	<u>35,7±3,2*</u>	<u>1142,3±92,8</u>
	0,76±0,06	8,6±0,79	50,1±4,2	1064,5±96,2
10 ГДК Cd ²⁺	<u>1,2±0,11</u>	<u>7,5±0,62</u>	<u>23,7±1,4*</u>	<u>1048,8±94,3</u>
	0,75±0,06	8,1±0,72	46,2±3,7	1025,6±81,3

Примітки: у чисельнику – ясно-сірий лісовий ґрунт, у знаменнику – чорнозем опідзолений; * – P < 0,5; ** – P < 0,25.

На чорноземі опідзоленому зменшення до 4% концентрації цинку в листках відзначено для варіанта 10 ГДК Cd²⁺. Зміни у надходженні цинку в плодах на ясно-сірому ґрунті та чорноземі опідзоленому відповідно становили 4 – 11% та 3 – 9% порівняно зі зразками контрольного варіанта. Слабке надходження цинку в умовах надлишку кадмію пов'язане з близькістю в хімічній будові елементів та здатності іонів Cd²⁺ заміщати іони Zn²⁺ в біологічних об'єктах [6; 11; 12]. Це особливо важливо з огляду на той факт, що цинк є ключовим елементом у фізіології рослини [12], а порушення фізіолого-біохімічних процесів в умовах кадмієвого навантаження, очевидно, необхідно пов'язувати з цинковою недостатністю.

Встановлено, що забруднення ґрунту кадмієм затримує пересування заліза в надземну частину рослин суниці, практично не знижуючи його поглинання коренями. На ясно-сірому ґрунті концентрація елемента в листках зменшувалась на 7 – 15%, в плодах – на 31 – 60% в порівняно зі зразками контрольного варіанта. Досліджувані рівні забруднення кадмієм чорнозему опідзоленого характеризувались послабленням надходження заліза в листки на 2 – 8%, в плоди – на 3 – 15% відносно контролю.

Надлишок кадмію в ґрунті значно пригнічує поглинання коренями калію. Ступінь пригнічення залежав від типу ґрунту. На ясно-сірому ґрунті корені містили на 27 – 43%, а на чорноземі опідзоленому – на 1 – 10% менше калію, ніж корені рослин контрольних варіантів. Відповідно менший вміст калію в листках рослин дослідних варіантів: на 27 – 43% на ясно-сірому

грунті та 6 – 18% на чорноземі опідзоленому порівняно з контролем. Концентрація калію в плодах зменшувалась на 5 – 12% (ясно-сірий ґрунт) та на 4-10% (чорнозем опідзолений). Причину цих змін, на нашу думку, необхідно шукати у спричиненому кадмієм порушенні механізму надходження калію.

Висновки. Отже, забруднення ґрунту кадмієм призводить до порушень у надходженні інших хімічних елементів. Встановлено, що кадмій конкурує з необхідними рослині металами, порушуючи їх функціональні ролі. Надлишок цього металу в ґрунтовому середовищі зменшує вміст цинку в органах суниці, гальмує поглинання калію, затримує пересування заліза в надземну частину. Надлишок кадмію в ґрунті посилює надходження в рослини іонів Pb^{2+} .

Бібліографічний список

1. Барсукова В. С. Влияние избытка кадмия на содержание макро- и микроэлементов у контрастных по устойчивости сортов пшеницы / В. С. Барсукова, О. И. Гамзикова // Физиология и биохимия культ. растений. – 2000. – Т. 32, № 1. – С. 47-54.
2. Вашенко В. В. Накопичення і розподіл важких металів в ячмені / В. В. Вашенко, Л. І. Коноваленко, Ю. К. Бородай // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2004. – № 2. – С. 23-27.
3. Веселов Д. С. Влияние кадмия на поглощение ионов, транспирацию и содержание цитокининов в проростках пшеницы / Д. С. Веселов, Р. Г. Фахрисламов // Агрехимия. – 1999. – № 10. – С. 78-81.
4. Медведев В. В. Земельні ресурси України / В. В. Медведев, Т. М. Лактіонова. – К. : Аграрна наука, 1998. – 148 с.
5. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 436 с.
6. Карпова Е. А. Кадмий в почвах, растениях, удобрениях / Е. А. Карпова, Ю. А. Потатуева // Химизация сельского хозяйства. – 1990. – № 2. – С. 44-47.
7. Кист А. А. Биологическая роль химических элементов и периодический закон / А. А. Кист. – Ташкент : ФАН, 1973. – 64 с.
8. Королева Е. Г. Экотоксикологические исследования последствий техногенного загрязнения / Е. Г. Королева // Токсикологический вестник. – 1995. – № 1. – С. 15-20.
9. Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза / А. И. Перельман. – М. : Недра, 1972. – 288 с.
10. Степанок В. В. Влияние соединений кадмия на урожай и элементный состав сельскохозяйственных культур / В. В. Степанок // Агрехимия. – 1998. – № 6. – С. 74-79.
11. Феник С. И. Механизмы формирования устойчивости растений к тяжелым металлам / С. И. Феник, Т. Б. Трофимьяк, Я. Б. Блюм // Успехи современной биологии. – 1995. – Т. 115, вып. 3. – С. 261–275.
12. Добровольский В. В. Цинк и кадмий в окружающей среде / В. В. Добровольский, Л. А. Гришина, Л. О. Карпачевский. – М. : Наука, 1992. – 200 с.