

УДК 58.086:582

Г. М. Денчиля-Сакаль, В. І. Ніколайчук, А. В. Колесник, М. М. Вакерич

Ужгородський національний університет

РЕАКЦІЇ РОСЛИН КОНЮШИНИ НА ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ СОЛЯМИ ЦИНКУ

Вивчено вплив іонів цинку на ріст, масу та стан пігментної системи листків *Trifolium pratense* L. Розвиток кореневої системи проростків більше пригнічується, ніж надземної частини. За перевищення МДК у 10 разів площа листків зменшувалася порівняно з контролем на 65–70 %. З'ясовано закономірності акумуляції та розподілу цинку в органах конюшини. При збільшенні концентрації елемента у ґрунті його концентрація в рослині зростає до певної межі, а при низьких концентраціях зростає лінійно. При концентрації цинку у ґрунті (1, 5, 10 МДК) вміст поліютанта в коренях зростає в 2, 3, у надземній частині – в 1,5–2,0 раза.

Г. М. Денчиля-Сакаль, В. И. Николайчук, А. В. Колесник, М. М. Вакерич

Ужгородский национальный университет

РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ КЛЕВЕРА НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ СОЛЯМИ ЦИНКА

Изучено влияние ионов цинка на рост, массу и состояние пигментной системы листьев *Trifolium pratense* L. Развитие корневой системы проростков больше подавляется, чем надземной части. При превышении МДК в 10 раз площадь листьев уменьшалась по сравнению с контролем на 65–70 %. Выявлены закономерности аккумуляции и распределения цинка в органах клевера. При увеличении концентрации элемента в почве концентрация в растении вырастает до определенного предела, а при низких концентрациях растет линейно. При концентрации цинка в почве (1, 5, 10 МДК) содержание поллютанта в корнях увеличивается в 2, 3, в надземной части – в 1,5–2 раза.

H. M. Denchilja-Sakal, V. I. Nikolaychuk, A. V. Kolesnik, M. M. Vakerich

Uzhgorod National University

REACTIONS OF CLOVER PLANTS TO SOIL CONTAMINATION WITH ZINC SALTS

It is studied the influence of zinc ions on growth, weight, and pigment system state of leaves of *Trifolium pratense* L. It is revealed that the root development of seedlings is suppressed more than above-ground parts. It is shown that under tenfold excess of MAC the leaves area decreased by 65–70% in comparison with the control. It is ascertained the regularities of accumulation and distribution of zinc in the clover organs. It was found that with increasing concentration of the element in soil, its concentration in the plant grows to a certain extent, but under low concentrations it increases linearly. Thus, under the concentrations of zinc in soil (1, 5 and 10 MAC) its content in the roots increases 2–3 times and in the above-ground parts – by 1.5–2 times.

Вступ

Погіршення екологічної ситуації – одна з найважливіших проблем, що зумовлює необхідність вивчення механізмів адаптації та резистентності рослинних організмів до

важких металів як найнебезпечніших забруднювачів [13]. Високий рівень їх надходження спричиняє істотні порушення обміну речовин та пригнічення ростових процесів, що викликає зниження продуктивності рослин [15]. Серед великої кількості речовин, що потрапляють до навколишнього середовища, особливе місце посідають важкі метали. Найпоширеніше джерело забруднення – автотранспорт, вихлопні гази якого дають основну масу свинцю, кадмію, міді, цинку [1; 8].

Хоча деякі з важких металів у низьких концентраціях – життєво важливі компоненти рослинної клітини, необхідні для проходження процесів метаболізму, у високих концентраціях вони спричинюють багато фізіологічних та біохімічних порушень. Проте в конкретних умовах рослини можуть проявляти певну резистентність і адаптивність до дії поллютантів [6]. Адаптація рослин до токсичного впливу забруднювачів можлива лише у вузькому діапазоні концентрацій і в умовах зовнішнього середовища, коли природні фактори не створюють додаткових стресових ситуацій [11].

Токсичними, залежно від граничних концентрацій, можуть бути будь-які речовини, у тому числі й життєво необхідні. Так, мідь та цинк належать до мікроелементів, однак підвищення їх концентрацій у клітині зумовлює генерацію оксидантного стресу [16]. Вміст пігментів та їх стан визначають розвиток і активність фотосинтетичного апарату, а також продуктивність, життєздатність і стійкість рослин [2; 7; 9].

Мета цієї роботи – оцінити ріст, розвиток, стан пігментної системи та акумуляцію цинку в органах рослин за умов забруднення середовища важкими металами.

Матеріал і методи досліджень

Об'єкт наших досліджень – конюшина лучна (*Trifolium pratense* L., Fabaceae) сорту Спарта. Вибір як тест-об'єкта саме цієї культури зумовлений, насамперед, її широким сільськогосподарським використанням. Конюшина лучна – багаторічна кормова культура. Коренева система стрижнева, добре розвинена, дуже розгалужена. Листки складні, трійчасті, черешкові. Суцвіття – кулясті або овальні голівки: 2–6 на одному стеблі, від 10–15 до 80–100 і більше на одній рослині. Квітки малі, сидячі, з червоно-фіолетовим віночком. Кожна квітка має чашечку з п'ятьма чашолистками, віночок із п'ятьма пелюстками, маточку та 10 тичинок. Плід – одностійний, рідко двонасінний біб. Насіння дрібне, видовжено-округлої форми, жовте, фіолетове чи строкате.

У природних умовах Ботанічного саду Ужгородського національного університету закладено серію експериментів. У модельні ділянки вносили солі цинку в таких концентраціях: 1, 5, 10 МДК, що у перерахунку на елемент становило 300, 1 500, та 3 000 мг/кг ґрунту. Контролем слугували рослини, вирощені на ґрунті без унесення солей цинку. При відборі варіантів експерименту користувалися таблицями максимально допустимих рівнів вмісту важких металів у ґрунтах і рослинній продукції (табл. 1) [14].

Таблиця 1

Максимально допустимі рівні вмісту важких металів у ґрунтах і рослинній продукції [13]

Метал	МДК, мг/кг	МДК валового вмісту в рослинній продукції, мг/кг сухої речовини
Цинк	300	≤ 10
Мідь	100	≤ 0,5
Хром	100	≤ 0,3
Ртуть	2	≤ 0,02
Кадмій	3	≤ 0,003
Свинець	32	≤ 0,3

Вимірювали біометричні параметри проростків, площу листової поверхні, отримані результати обробляли статистично. Вміст металів визначали атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі С115М1 у пропан-бутановому полум'ї з використанням дейтерієвого коректора неселективної абсорбції [10].

Результати та їх обговорення

Ріст – один із найважливіших параметрів, які характеризують відповідну реакцію рослин на стрес. Довжина проростків залежить від вмісту у ґрунті сульфату цинку (рис. 1). На ділянках, де досліджувану сіль вносили в концентраціях, що не перевищували 1 МДК, розміри рослин були більшими, ніж у контролі, однак за концентрації 5 МДК спостерігали значне пригнічення лінійного росту проростків коношини. За умов унесення 10 МДК проростки з'явилися зі значним запізненням у строках проростання, були слабкішими, меншими за розмірами, а через певний період зовсім припиняли свій ріст.

Таблиця 2

Вплив сульфату цинку на ростові показники проростків *Trifolium pratense* L.

Варіант експерименту	Довжина проростків, см		Маса проростків, мг		Площа листової поверхні, см ²	
	<i>M</i>	<i>Cv</i> , %	<i>M</i>	<i>Cv</i> , %	<i>M</i>	<i>Cv</i> , %
10 МДК	6,9	31,3	156,2	7,1	0,24	21,4
5 МДК	18,9	18,1	198,5	6,6	0,47	28,3
1 МДК	20,6	13,1	273,7	5,8	0,63	16,9
Контроль	15,6	24,8	212,1	6,3	0,72	12,8

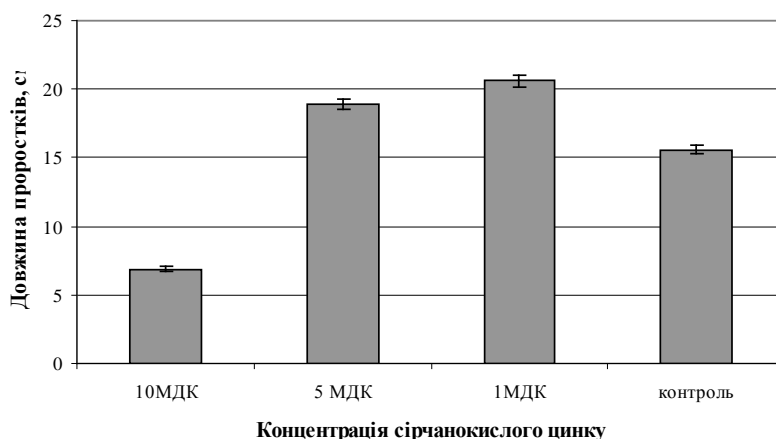


Рис. 1. Довжина проростків *Trifolium pratense* L. (см) за різних концентрацій $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$

Маса окремого органа або всієї рослини – інтегральний показник ростових процесів за різних умов навколишнього середовища. Виходячи з цього визначали масу проростків, вирощених за різної концентрації сульфату цинку. Отримані результати в загальних рисах виявляли ту саму тенденцію, що й у першому варіанті експерименту. З отриманих результатів видно (рис. 2), що маса варіювала під впливом різних концентрацій сірчаноокислого цинку.

Середнє значення маси проростків, вирощених за дії 1 МДК сульфату цинку, було дещо вищим, ніж у контрольному досліді (вирощування на дистильованій воді). За всіх інших випробуваних у досліді концентрацій (1–10 МДК) маса проростків була

нижчою, ніж у контролі та за дії 1 МДК. Одержані дані – свідчення того, що підвищення концентрацій сульфату цинку спричиняє істотне гальмування не тільки лінійного росту, а й ростових процесів у цілому.

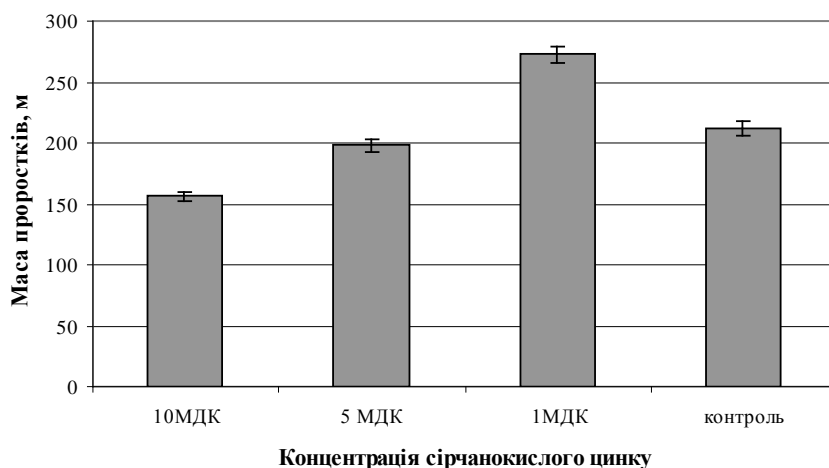


Рис. 2. Маса проростків *Trifolium pratense* L. (мг), вирощених за різних концентрацій $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$

Важливий показник, який характеризує асиміляційний апарат рослин, – розміри листків та їх площа. В усіх варіантах експерименту виявлено лінійну залежність: зі зростанням концентрації металу у ґрунті площа листових пластинок зменшується (рис. 3).

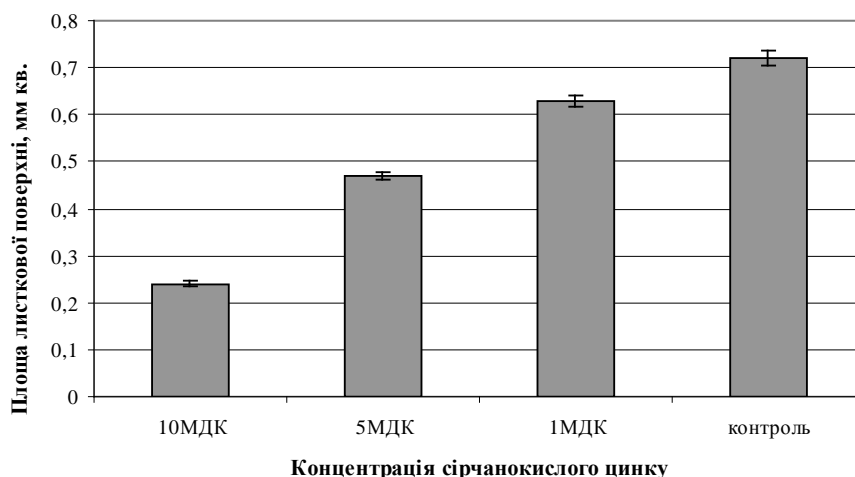


Рис. 3. Зміна площі листової поверхні *Trifolium pratense* L. залежно від рівня забруднення ґрунту солями цинку

За перевищення МДК у 10 разів площа листків зменшувалася порівняно з контролем на 65–70 %. Незважаючи на чітко виражений дозозалежний ефект при одно- та п'ятикратному перевищенні МДК, реакції рослин на стрес відрізнялися залежно від типу полютанта. При десятикратному перевищенні допустимих рівнів забруднень стрес-реакція зумовлювала зменшення площі листків до 0,24 мм². Із літературних даних відомо, що при вивченні ряду сільськогосподарських рослин (гороху, кукурудзи,

соняшника, ячменю) спостерігалася чітко виражена видова специфіка реакції асиміляційного апарату при надлишку цинку [5].

Надмірні концентрації ВМ у ґрунті викликають не тільки зміни морфологічних параметрів, а і виникнення різноманітних тератологічних відхилень будови вегетативних і генеративних органів рослин. Подібні, видимі часто неозброєним оком, зміни зовнішнього вигляду рослин не завжди пов'язуються саме зі впливом поллютантів і тому тривалий період часу цьому питанню не надавалося належної уваги.

За концентрації 1 МДК сірчаноокислої міді ніяких видимих змін у зовнішньому вигляді листків не спостерігалось. За наступного збільшення вмісту металу у ґрунті (5 МДК) на епідермі починали з'являтися точкові некрози у вигляді плям бурого кольору, що швидко темніли й засихали.



Рис. 4. Точкові некрози на листках *Trifolium pratense* L. за концентрації цинку у ґрунті 5 МДК

За концентрації 10 МДК некроз вражав майже всю поверхню листків. Площа некротичних плям у деяких випадках досягала майже третини від розмірів листкових пластинок. Ділянки між плямами залишалися зеленими, але набували світлішого кольору. Спостерігалось незначне опадання листків. Аналіз даних літератури свідчить, що при накопиченні важких металів у листках розвивався міжжилковий хлороз, некроз країв і кінчика листка, наставав ранній листопад. Отже, наші результати узгоджуються з літературними даними [2; 3].



Рис. 5. Точкові некрози на листках *Trifolium pratense* L. за концентрації цинку у ґрунті 10 МДК

Показано, що внесення в ґрунт цинку, концентрація якого перевищує ГДК, спричинює значну його акумуляцію у вегетативних органах рослин (рис. 6). При дослідженні акумуляції цинку конюшиною виявлено здатність рослин до накопичення досить значних кількостей цього токсичного іона. Зі збільшенням концентрації еле-

мента у ґрунті його концентрація в рослині зростає до певної межі, а за низьких концентрацій зростає лінійно (рис. 6).

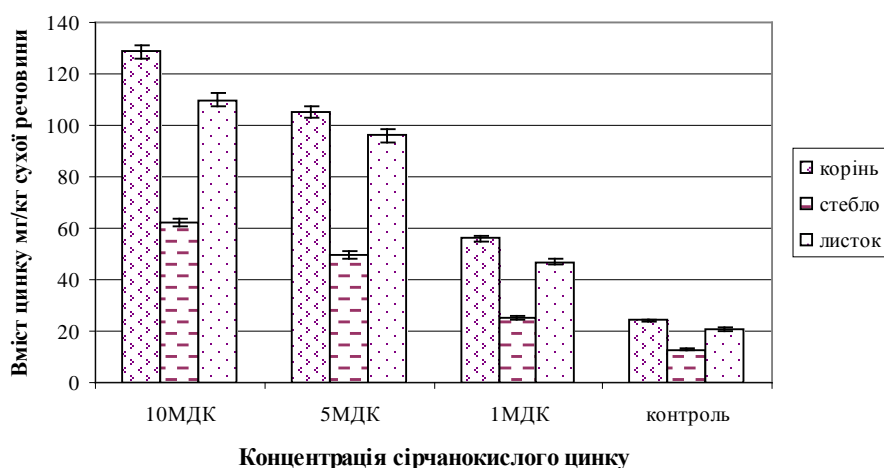


Рис. 6. Акумуляція цинку в органах *Trifolium pratense* L.

За концентрації цинку у ґрунті (1, 5, 10 МДК) вміст полютанта в коренях зростає в 2, 3, у надземній частині – в 1,5–2 рази. З літературних джерел відомо, що ріст коренів більш чутливий до дії важких металів порівняно з ростом пагонів [4; 12; 17; 18]. Це пояснюється тим, що важкі метали у більшості видів рослин накопичуються саме в коренях.

Висновки

У низьких концентраціях солі цинку проявляли значний стимулювальний ефект на довжину та масу проростків рослин конюшини, а негативний вплив спостерігався тільки за перевищення 5 МДК. Зі зростанням концентрації металу у ґрунті площа листових пластинок зменшується, листки втрачають тургор, в'януть. Надлишок цинку у поживному середовищі викликав міжжилковий хлороз. При збільшенні концентрації елемента у ґрунті його концентрація в рослині зростає до певної межі, а за низьких концентрацій зростає лінійно.

Бібліографічні посилання

1. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л. : Агропромиздат, 1987. – 142 с.
2. Бессонова В. П. Пасивний моніторинг забруднення середовища важкими металами з використанням рослин // Український ботанічний журнал. – 1991. – Т. 48, №2. – С. 77–80.
3. Бессонова В. П. Вплив важких металів на пігментну систему листка // Український ботанічний журнал. – 1992. – Т. 49, № 2. – С. 63–66.
4. Бойко Л. А. Физиология корневой системы растений в условиях засоления: Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. – К., 1970. – 42 с.
5. Влияние избытка цинка на рост проростков, ячменя, подсолнечника, гороха, кукурузы / О. Р. Михайлов, В. П. Бессонова, И. И. Лыженко, О. Д. Карасева // Интродукция и экспериментальная экология растений. – Днепропетровск : ДГУ, 1985. – С. 3–11.
6. Гуральчук Ж. З. Механизмы устойчивости растений к тяжелым металлам // Физиология и биохимия культ. растений. – 1994. – Т. 26, № 2. – С. 107–117.
7. Ильин В. Б. К оценке массопотока тяжелых металлов в системе почва – сельскохозяйственная культура // Агробиохимия. – 2006. – № 3. – С. 52–65.
8. Ильинский А. В. Биологическая очистка почв, загрязненных тяжелыми металлами // Агробиохим. вестн. – 2003. – № 5. – С. 30–32.

9. **Ильсун Г. М.** Газоустойчивость растений. – К. : Наук. думка, 1971. – 146 с.
10. **Методические** указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М. : ЦИНАО, 1992. – 53 с.
11. **Пацула О. І.** Каталаза та адаптація рослин соняшника до дії кадмію та свинцю / О. І. Пацула, О. Т. Демків // Вісник Львівського ун-ту. Серія біологічна. – 2003. – Вип. 34. – С. 225–230.
12. **Серегин И. В.** Является ли барьерная функция эндодермы единственной причиной устойчивости ветвления корней к солям тяжелых металлов / И. В. Серегин, В. Б. Иванов // Физиология растений. – 1997. – Т. 44. – С. 922–925.
13. **Усманов Т. Ю.** Экологическая физиология растений / Т. Ю. Усманов, З. Ф. Рахманкулова, А. Ю. Кулагин. – М. : Логос, 2001. – 224 с.
14. **Фононий** вміст мікроелементів у ґрунтах України / За ред. А. І. Фатєєва, Я. В. Пашенка. – Харків : ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського», 2003. – 120 с.
15. **Baker A. J. M.** Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals // J. Plant Nutr. – 1981. – Vol. 3. – P. 643–654.
16. **Mitchell C. D.** Cadmium and zinc toxicity in white pine, red malp and norway spruce / C. D. Mitchell, T. A. Fretz // J. Soc. Hort. Sci. – 1977. – Vol. 102. – P. 25–42.
17. **Nolan A. L.** Prediction of zinc, cadmium, lead, and copper availability to wheat in contaminated soils using chemical speciation, diffusive gradients in thin films, extraction, and isotopic dilution techniques / A. L. Nolan, H. Zhang, M. J. McLaughlin // J. Environ. Qual. – 2005. – Vol. 34. – P. 496–507.
18. **Rengel Z.** Wheat genotypes differ in zinc efficiency when grown in the chelate-buffered nutrient solution / Z. Rengel, R. D. Graham // I. Growth. Plant Soil. – 1995. – Vol. 176. – P. 307–316.

Надійшла до редколегії 14.07.2012