

і *Pseudomonas* були виділені як з кореневища, так і з листя айру, а бактерії роду *Bacillus* – тільки з ураженого кореневища. Виділені нами штами бактерії вивчено за тридцятьма тестами. Більшість ізолятів за культурально-морфологічними властивостями ідентичні з бактеріями роду *Erwinia*. Це грамнегативні, рухомі, дрібні, кокоподібні палички з перитрихально розміщеними джгутиками. Спор не утворюють. На МПА колонії білого кольору, опалесцюючі, але не завжди, округлі з прозорим хвилястим краєм. На картопляному агарі вони утворюють сіро-білі колонії, блакитні в прохідному світлі, з хвилястим або рівним краєм, з трохи піднятим конусоподібним центром. На МПБ бактерії утворюють слабку, іноді сильну каламуть з тонкою ажурною плівкою або без неї. Факультативні анаероби. Як джерело вуглецю використовують глюкозу, сахарозу, галактозу, арабінозу, манозу, рамнозу, ксилозу, маніт з утворенням кислоти й варіабельно газу [7]. Не всі штами бактерій ферментують лактозу, мальтозу, розріджують желатин, зсідують молоко, утворюють кислоту на лакмусовій сироватці, варіабельно виділяють сірководень. Оксидазонегативні. Ці протиріччя свідчать про нестабільність деяких ознак, пов'язану, вірогідно, зі штамовою неоднорідністю цього виду.

За вивченими біологічними властивостями патогенні ізоляти розподілилися на дві групи: газоутворювальні та негазоутворювальні бактерії *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* (20 штамів), флуоресцюючі і нефлуоресцюючі псевдомонаси (18 штамів) і бактерії роду *Bacillus* (20 штамів). Цікаво, що при вивченні штамів, ізольованих з уражених квіткових рослин, бактерії *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* також поділилися на групу газуючих і негазуючих, а бактерії роду *Pseudomonas* на дві групи – флуоресцюючі та нефлуоресцюючі, що, вірогідно, передбачає широку розповсюдженість цих форм патогенів на багатьох групах рос-

лин, що свідчить про широкий спектр уражень, які заважають збудники бактеріозів [6].

Висновки. Нами було виявлено бактеріальне захворювання цінної лікарської рослини – айру й описано його симптоми. Відмічено два типи ураження – бура м'яка гниль кореневища й бура плямистість листя. За основними властивостями бактерії, віднесені нами до виду *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*, які не відрізнялися від властивостей типового штаму 8982 і властивостей цього виду за визначником [7]. Видова приналежність бактерій роду *Pseudomonas* потребує уточнення. Крім цього, виділено 20 ізолятів спороутворювальних бактерій. Отже, нами доведено, що бактеріальна гниль кореневища й бура плямистість айру викликається змішаною інфекцією, в якій беруть участь *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* та бактерії роду *Pseudomonas* і *Bacillus*. Бактеріальні захворювання зменшують кількість водної рослинності й забруднюють водоймища їхніми ураженими залишками. Виявлені на айрі фітопатогенні бактерії мають широке коло рослин-господарів і з потоками води можуть переноситися на великі відстані від основного джерела, тому вони є потенційною загрозою інфекцій для прибережної та сільськогосподарської рослинності.

1. Чорна Г.А. Рослини наших водойм (Атлас-довідник). – К., 2001.
2. Носаль І.М. Від рослини – до людини. Розповіді про лікувальні та лікарські рослини України. – К., 1992.
3. Лекарственные растения дикорастущие. – Минск, 1967.
4. Огородник Л.Е., Гвоздик Р.И., Яковлева Л.М. Бактериальные болезни водных растений // Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии: Матер. междунар. конф. Минск, 26–28 мая 2004. – Минск, 2004. – С. 27–29.
5. Бельтюкова К.И., Матышевская М.С., Куликовская М.Д., Сидоренко С.С. Методы исследования возбудителей бактериальных болезней растений. – К. 1968.
6. Огородник Л.Е. Бактериальные болезни цветочно-декоративных растений в Белоруссии и обоснование мер борьбы с ними: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – п. Самохваловичи, Минск. обл., 1987.
7. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. – Baltimore; London, 1984. – Vol. 1.

Надійшла до редколегії 28.10.04

УДК 561.61: 58.02: 58.051

Н.М. Воробець, д-р біол. наук, В.І. Ніколайчук, д-р біол. наук,
В.І. Козловський, канд. біол. наук, Н.В. Бойко, канд. біол. наук,
А.І. Колесник, канд. біол. наук,

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ НАКОПИЧЕННЯМ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ І ВОДНИМ ПОТЕНЦІАЛОМ РОСЛИН ПРИ ЗРОСТАННІ ЇХ НА ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ

Установлено, що домінуючі види рослин, які зростають на забруднених ґрунтах, стійкі до одночасної дії різних солей важких металів, зокрема кадмію, свинцю, цинку. Їх можна вважати концентраторами цих металів. Поглинання та накопичення рослинами солей важких металів залежить від рівня забруднення ґрунту, його типу та рН. Ці домінуючі рослини зберігають високий водний потенціал, високий відносний вміст води і тому зберігають здатність до активного росту й розмноження.

It has been done the comparison of heavy metal values records in the soil and *Solidago virgaurea* L. and *Stenactis annuus* Nees plants that growth on this soil. We revealed that this species can grow on the soil with high heavy metal concentration. Level of Cu, Pb, Zn, Cd, Fe absorbed and accumulated in plants depend on level of contaminated soil.

Вступ. Солі важких металів (ВМ) здатні утворювати природні або антропогенного походження природні акумуляції, де концентрація їх у сотні й тисячі разів перевищує кларкові рівні. Вони утворюють групу небезпечних забруднювачів природного навколишнього середовища. Оскільки тепер здебільшого відбувається комплексне забруднення довкілля солями важких металів, особливої актуальності набуло вивчення механізмів стійкості рослин до них.

У зоні Східних Карпат часто спостерігаються катастрофічні ситуації, які змінюють екологічний стан окремих регіонів, зокрема прируслових ділянок р. Тиса [13, 14].

Так, унаслідок неодноразового руйнування дамби в гірничодобувному підприємстві кольорових металів Бая-Борина (Румунія) у 2000 р. сотні тисяч кубічних метрів забрудненої солями важких металів і ціанідами води потрапили у водні артерії [14]. Обстеження ґрунтів у заплавах р. Тиса в Хустському районі показало перевищення гранично допустимої концентрації (ГДК) для ряду солей важких металів у 6–100 разів [1]. Дослідження вмісту солей міді та свинцю в траві й молоці корів, яких випасали на прируслових територіях у квітні-травні 2000 р. показали особливо високий вміст міді [1]. Заплавні території р. Тиса використовуються під посіви

сільськогосподарських культур, випасання худоби, збирання лікарських трав. З огляду на це подальше обстеження прирусових ділянок залишається актуальним. Протягом 2002–2003 рр. було досліджено ряд локалітетів верхнього басейну р. Тиса в рамках виконання українсько-угорського проекту "Вивчення мобілізації, акумуляції, поширення і біоремедіації важких металів у забруднених екосистемах верхнього басейну р. Тиса".

Метою даної роботи було виявити зв'язок між акумуляцією важких металів у рослинах, які домінують в досліджуваних екосистемах, і станом води в них.

Об'єкт і матеріали досліджень. Дослідження проводили на рослинах Золотушник звичайний (*Solidago virgaurea* L.) і Стенактис однорічний (*Stenactis annuus* Ness.), які широко розповсюджені вздовж р. Тиса [20, 21].

Зразки рослин відбирали на українській території на березі р. Тиса в околицях сіл Буштино, Крива та заплавах в околицях м. Виноградovo Закарпатської області. На угорській території роботу проводили на березі р. Тиса в околицях м. Домбрад. Вміст ВМ (Cu, Zn, Pb, Cd, Mn, Fe) у рослинах визначали із застосуванням сухої мінералізації в муфельній печі при температурі +450 °C з наступним розчиненням у суміші азотної кислоти й дистильованої води у співвідношенні 1 : 1 [8, 9]. Метали визначали атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі С115М1 у пропан-бутановому полум'ї з використанням дейтерієвого коректора неселективної абсорбції.

Для виявлення стану води в рослинах визначали відносний вміст води (ВВВ) і водний потенціал (ВП) в органах Золотушника звичайного та Стенактиса однорічного. Для визначення ВВВ частини рослини негайно після відділення зважували (маса сирої речовини) і поміщали в колби з водою ємністю 0,5 л для регідратації протягом 12 год до повного насичення при +4 °C, поверхнево висушували фільтрувальним папером і переважували (маса насичення). Після цього зразки висушували при +105 °C протягом 1 год та при +71 °C протягом наступних 48 год і знову зважували (маса сухої речовини) [17]. Маса сухої речовини визначали ваговим методом після висушування в сушильній шафі при температурі +105 °C. Відносний вміст води визначали за формулою: $ВВВ = (маса\ сирої\ речовини - маса\ сухої\ речовини) / (маса\ насичення - маса\ сухої\ речовини)$.

Водний потенціал визначали рефрактометричним методом [3]. Для цього готували у пробірках по 2 мл розчинів сахарози різних концентрацій (0,1–0,7 моль/л), в які поміщали по 10 висічок з листків, витримували протягом 90–120 хв періодично струшуючи. Для визначення концентрації розчину сахарози після перебування в ньому рослинного матеріалу використовували рефрактометр УРЛ-1. На призму рефрактометра наносили дві краплі вихідного, а потім відповідного дослідного розчину. Знаходили розчин, концентрація якого не змінювалась після перебування в ньому дослідних об'єктів. Величину ВП розраховували за формулою:

$$ВП = \psi_w = -RT \cdot c \cdot i.$$

Отримані результати досліджень статистично опрацьовували з використанням пакета комп'ютерних програм Microsoft Excel.

Результати та їх обговорення. Геоботанічний аналіз рослин, які росли на досліджуваних заплавах ділянках і березі р. Тиса виявив домінуючі види трав'яника Золотушник звичайний (*Solidago virgaurea* L.) і Стенактис однорічний (*Stenactis annuus* Nees.).

Відомо, що в різних шарах ґрунтового розрізу міститься неоднакова кількість доступних для поглинання рослинами ВМ [9, 10]. Той горизонт, де зосереджена основна частина кореневих волосків, здатних до активної адсорбції речовин, зокрема ВМ, відіграє найбільшу роль у їхньому накопиченні. Разом з тим відомо, що в ґрунтах механізми трансформації техногенних потоків у малорухомі й недоступні для рослин форми діють лише в певних межах. Тому екологічна ситуація, що зумовлена техногенним впливом на ґрунти, може змінюватися від благополучної до катастрофічної [6].

Більша частина кореневої системи в обох видах рослин зосереджена на глибині 0–12 см від поверхні ґрунту [5].

Результати дослідження вмісту ВМ у рослинах показали, що відбувається накопичення ними значно більших кількостей Cu, Pb, Zn, Cd, Fe (табл. 1) порівняно з ГДК, прийнятих в Україні [6], та тих, які наводять як середні в рослинності суші [4, 7, 11]. В усіх локалітетах виявлено значне перевищення рівнів ГДК для кадмію та свинцю. У локалітетах м. Домбрад та м. Виноградovo виявлено також значне перевищення ГДК для цинку в рослин. Тому дані види рослин можна вважати концентраторами кадмію, свинцю та цинку.

Таблиця 1. Вміст солей важких металів у біомасі рослин, мкг · г маси сухої речовини

Вид рослин	Cu	Pb	Zn	Cd	Mn	Fe	Локалітет
<i>Solidago virgaurea</i> L.	8,5	≤ 2	46,3	0,27	16	74,7	м. Домбрад
	8,8	1,2	25,6	0,07	26,7	117,3	с. Крива
	9,2	3,9	32,7	0,20	16,9	129,8	Околиці м. Виноградovo
<i>Stenactis annuus</i> Nees	11,7	< 2	61,3	0,67	6,5	149,4	м. Домбрад
	5,5	1,2	24,1	0,18	30,1	100,5	с. Буштино
	6,9	< 5	39,6	0,14	12,8	267,9	Околиці м. Виноградovo

Необхідно зазначити, що вміст елементів у рослинності суші за даними різних авторів досить відрізняється [4, 6, 7, 11], особливо щодо свинцю та кадмію. ГДК для досліджуваних елементів у їстівних частинах рослин також відрізняється від вмісту їх у рослинності суші.

Серед ВМ, котрі були досліджені, кадмій і свинець належать до тих, необхідності яких для живих організмів не виявлено [19]; мідь, цинк, марганець і залізо – до необхідних, якщо вміст їх не перевищує певних значень [10]. Отже, рослини в досліджених локалітетах мають підвищений вміст ряду ВМ. Незважаючи на це, рослина даного виду домінувала в усіх досліджених локалітетах. Це свідчить про їхню стійкість не лише до одного, але й до групи металів. За дії на рослини надмірних кількостей ВМ у них виникає стрес. Очевидно,

існують механізми, які дають можливість рослинам здійснювати повний фізіологічний цикл розвитку в зазначених умовах. Адаптація до стресу – метаболічно активний процес, значною мірою зумовлений ступенем обмінюваності й перерозподілу різних пулів води в клітині [16]. Відомо, що рослини промислових районів характеризуються меншою обводненістю тканин [12], а особливості перебування в спокої, здатність регулювати швидкість росту, значення водного потенціалу листка та водний потенціал кореня є показниками, які варіюють залежно від інших обставин разом з концентрацією ВМ [18]. Відомо також, що водний дефіцит може спостерігатись у рослин, які ростуть з достатньою кількістю води в ґрунті [18]. Тому нами було вивчено стан води в досліджуваній рослині. ВВВ у надземних і підзе-

мних органах значно відрізнявся залежно від місця збирання (табл. 2). У листках і коренях *Solidago virgaurea* L., які зростали у відносно чистих ділянках сіл Велятино

та Груково [14, 15] відносний вміст води у 3–8 разів вищий, ніж у тих, що зростали в забрудненій ділянці (м. Домбрад).

Таблиця 2. Відносний вміст води в органах рослин з приуслових ділянок р. Тиси, %

Місце збирання	<i>Solidago virgaurea</i> L.	
	Листки	Корені
м. Домбрад	61,28	24,84
с. Велятино	7,38	9,86
с. Груково	8,75	9,20

У іншого досліджуваного виду – *Stenactis annuus* Nees відмінностей у ВВВ було значно менше. Водний потенціал рослин також значно відрізнявся в досліджуваних видів, а також залежно від місця зростання (табл. 3). Так, у коренів, стебел і листків *Solidago virgaurea* L. водний потенціал був однаковим, якщо вони були з одного місця зростання. Однак значення ВП із забруднених

ділянок було суттєво нижчим, ніж з відносно чистих. ВП *Стенактиса* однорічного відрізнявся значно менше щодо місця зростання, однак його значення були нижчими, ніж у *Золотушника* звичайного.

Крім того, у рослин з околиць сіл Велятино та Груково корені мали вищий водний потенціал порівняно щодо стебел і листків.

Таблиця 3. Водний потенціал в органах рослин з приуслових ділянок р. Тиси, МПа

Місце збору	<i>Solidago virgaurea</i> L.		
	Листки	Корені	Стебла
с. Велятино	– 1,007	– 1,007	– 1,007
с. Груково	– 0,991	– 0,991	– 0,991
м. Домбрад	– 1,343	– 1,343	1,343

Вважають, що ВП в межах – 0,2 ...–1,3 МПа відповідають достатньому або оптимальному рівню вологозабезпечення рослин. При жорсткому дефіциті вологи ВП може знижуватись до –1,4 і нижче. ВП досліджуваних видів не виходив за ці межі.

Одержані результати свідчать, що домінуючі види на забруднених ґрунтах зберігають високий ВП, високий ВВВ і тому зберігають здатність до активного розвитку й розмноження. Отже, рослини *Solidago virgaurea* L. та *Stenactis annuus* Nees стійкі до одночасної дії різних солей важких металів: кадмію, свинцю, цинку. Їх можна також вважати концентраторами кадмію, свинцю та цинку. Поглинання і накопичення даним видом важких металів залежить від рівня забруднення ґрунту, його типу та рН.

1. Бойко Н.В., Чонка І.І., Чонка І.А. та ін. // Наук. вісн. УжНУ. Сер. Біологія. – 2000. – № 8. – С. 151–154. 2. Глазовская М.А. // Почвоведение. – 1994. – № 4. – С. 110–120. 3. Григорюк І.А., Ткачев В.И., Савинский С.В. и др. Методы исследования и способы оценки устойчивости растений к засухе и высокой температуре. – К., 1999. 4. Добровольский В.В. Свинец в окружающей среде. – М., 1987. 5. Добровичева Д.Н., Котов М.Н., Прокудин Ю.Н.

и др. Определитель высших растений Украины. – К., 1987. 6. Земельні ресурси України / За ред. В.В. Медведєва, Т.М. Лактіонової. – К., 1998. 7. Ильин В.Б. Элементарный химический состав растений. – Новосибирск, 1985. 8. Костишин С.С., Руденко С.С., Дмитрук Ю.М., Курек С.І. // Физиология и биохимия культур. растений. – 1995. – Т. 28, № 4. – С. 115–123. 9. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. – М., 1981. 10. Мур Д.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. – М., 1987. 11. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М., 1989. 12. Тарабрин В.П. Физиология устойчивости древесных растений в условиях загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Микроэлементы в окружающей среде. – К., 1990. – С. 17–19. 13. Торохтин М.О., Добей В.О. // Наук. вісн. УжНУ. Сер. Біологія. – 2000. № 9. – С. 349–350. 14. Торохтин М.О., Рошко В.Г. // Наук. вісн. УжНУ. Сер. Біологія. – 2003. – № 13. – С. 96–97. 15. Чонка І.І., Бойко Н.В. // Наук. вісн. УжНУ. Сер. Біологія. – 2002. – № 11. – С. 101–104. 16. Шматько И.Г., Григорюк И.А., Шведова О.Е. Устойчивость растений к водному и температурному стрессам. – К., 1989. 17. Barrs H.D., Weatherley P.E. // Austr. J. Biol. Sci. – 1962. – Vol. 15. – P. 413–428. 18. Barcelo J., Poschenrieder Ch. // J. of Plant Nutrition. – 1990. – Vol. 13, № 1. – P. 1–37. 19. Olendzysky K., Anderberg S., Bartrick J. et al. // Environ. Rev. – 1996. – Vol. 4, № 3. – P. 300–320. 20. Plohmman B., Bader G., Hiller K., Franz G. // Phytomazie. 1997. – Vol. 52, № 13. – P. 953–957. 21. Thiem B., Goslinska O. // Fitoterapia. – 2002. – Vol. 73, № 6. – P. 514–516.

Надійшла до редколегії 12.09.04