
ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ МЕГАПОЛІСУ

УДК 574:504.064:477.25

В. Г. Радченко, О. Г. Луцишин, Н. В. Палапа, П. П. Яворовський, Н. В. Коломієць,
О. М. Ковальова, І. К. Тесленко

ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ГІРКОКАШТАНУ ЗВИЧАЙНОГО (*Aesculus hippocastanum* L.) В УМОВАХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ КИЇВСЬКОГО МЕГАПОЛІСУ

Науковий центр екомоніторингу та біорізноманіття мегаполісу НАН України

Досліджено функціональний стан гіркокаштану звичайного в умовах хронічної та пролонгованої дії фітотоксичних елементів. Небезпечні рівні накопичення йонів Na^+ , Cl^- , Pb^{2+} , Cd^{2+} у ґрунті та фітомасі (листки, кора, коріння) *Aesculus hippocastanum* знаходяться за межею толерантності, адаптивності та виживання дерев вуличних насаджень: ураження самої листової пластинки та листового покриву крони крайовим і міжжилковим некрозом і міжжилковим хлорозом досягало 100 % з наступною дефоліацією крони; ростові процеси за маркерними біоіндикаційними показниками (річний приріст, ширина і довжина центрального сегмента, площа та біомаса листка) пригнічувались. Причиною катастрофічного функціонального стану каштанів є кризовий рівень накопичення токсичних елементів у ґрунті та фітомасі рослин. При цьому пошкодження листків мінуючою каштановою міллю (*Cameraria ohridella* Deskha & Dimic, 1986) різко знижується і в існуючих умовах не становить відчутної загрози для міських каштанів.

Ключові слова: фітотоксичні елементи (Na, Cl, Pb, Cd), Aesculus hippocastanum L., некроз, хлороз, ростові процеси.

В. Г. Радченко, О. Г. Луцишин, Н. В. Палапа, П. П. Яворовський, Н. В. Коломієць,
О. М. Ковалева, І. К. Тесленко

Научный центр экомониторинга и биоразнообразия мегаполиса НАН Украины

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ КОНСКОГО КАШТАНА (*Aesculus hippocastanum* L.) В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ КИЕВСКОГО МЕГАПОЛИСА

Изучено функциональное состояние каштана обыкновенного в условиях хронического и продолжительного действия фитотоксичных элементов. Опасные уровни накопления ионов Na^+ , Cl^- , Pb^{2+} , Cd^{2+} в почве и фитомассе (листьях, коре, корнях) *Aesculus hippocastanum* находились за пределами толерантности, адаптивности и выживания уличных насаждений: повреждение пластинки листа и листового покрова кроны краевым и межжилковым некрозом, а также хлорозом достигало 100 % с последующей дефолиацией кроны; угнетались ростовые процессы по маркерным биоиндикационным показателям (годовой прирост, ширина, длина центрального сегмента, площадь и биомасса листа). Причина катастрофического функционального состояния каштанов – кризисный уровень накопления токсичных элементов в почве и фитомассе растений. При этом повреждение листьев минирующей каштановой молью (*Cameraria ohridella* Deskha & Dimic, 1986) резко уменьшается в существующих условиях и перестает быть главной угрозой городских каштанов.

Ключевые слова: фитотоксические элементы (Na, Cl, Pb, Cd), Aesculus hippocastanum L., некроз, хлороз, ростовые процессы.

© Радченко В. Г., Луцишин О. Г., Палапа Н. В., Яворовський П. П., Коломієць Н. В.,
Ковальова О. М., Тесленко І. К., 2010

V. G. Radchenko, O. G. Lutsyshyn, N. V. Palapa, P. P. Yavorovskiy, N. V. Kolomiets,
O. M. Koval'ova, I. K. Teslenko

Center for megalopolis ecomonitoring and biodiversity research of NAS of Ukraine

FUNCTIONAL STATUS OF BUCK-EYE (*Aesculus hippocastanum* L.) UNDER CONDITIONS
OF ANTHROPOGENIC POLLUTION OF KYIV ENVIRONMENT

The functional status of buck-eye under conditions of chronic and long-continued action of phytotoxic elements was researched. Dangerous accumulation levels of ions Na^+ , Cl^- , Pb^{2+} , Cd^{2+} in soil and phytomass of *Aesculus hippocastanum* L. (leaves, roots, bark) were below the line of street planting tolerance, adaptability and survival. Leaf blade and crown cover were 100% damaged with necrosis and chlorosis with further defoliation of the crown. The growth processes according to marker bioindicative signs (annual increase, width and length of the central segment, area and biomass of the leaf) were depressed. The reason of catastrophic functional status of buck-eyes is the crisis levels of toxic elements accumulated in soil and biomass of the leaf. So the influence on the leaves with the chestnut moths (*Cameraria Ohridella* Deschka & Dimic, 1986) is sharply reduced and their real threat to buck-eyes is very low under existing conditions.

Key words: phytotoxic elements (Na, Cl, Pb, Cd), Aesculus hippocastanum L., necrosis, chlorosis, growth processes.

Миські насадження гіркогоаштану є одним із найбільш поширених у столиці деревних видів рослин і нараховують до 2 млн дерев. Донедавна розкішні кінські каштани Києва – символ столиці – надавали їй особливої чарівності та затишності. Крім того, вуличні насадження гіркогоаштанів є ефективними біоаккумуляторами забруднюючих доквілля фітотоксичних речовин. Із літературних даних відомо, що каштани належать до практично безбар'єрних рослинних організмів при накопиченні шкідливих речовин, тому у вуличних насадженнях є потужними живими фільтрами і біоіндикаторами чистоти доквілля (Левон, 1999; Григорюк, 2004).

В умовах потужного техногенного забруднення доквілля міста вуличні рослини угруповання вимушені акумулювати шкідливі фітотоксичні елементи в надлишкових концентраціях, які порушують у першу чергу катіонно-аніонний баланс, процеси мінерального живлення, пригнічують активність ферментних і гормональних систем, викликають порушення в проникності клітинних мембран та інгібують фотосинтетичні процеси (Ількун, 1978; Серегин, 2001).

Висока акумулююча здатність гіркогоаштанів одночасно визначає їх чутливість до дії надмірних концентрацій токсичних елементів. На сьогодні в столиці вуличні гіркогоаштанові насадження знаходяться в катастрофічному стані. Уже наприкінці червня – на початку липня листки крони гіркогоаштанів буріють, а вже у липні–серпні відбувається дефоліація крони, що веде до відмирання гілок і всихання дерев. Отже, проблема виживання рослин стоїть достатньо гостро і чіткої відповіді щодо причини загибелі вуличних насаджень гіркогоаштану до цього часу не знайдено.

Мета нашого дослідження – установити взаємозв'язок між рівнем техногенного забруднення в урбоекосистемі міста та ступенем ураження функціонального стану рослинного організму гіркогоаштану звичайного і з'ясувати причину загибелі дерев.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження проводились у межах урбоекосистеми міста Києва. Об'єктом дослідження вибрані вуличні насадження гіркогоаштану звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.) на підібраних тест-майданчиках вулиць з різним рівнем техногенного навантаження. За контрольний тест-об'єкт взяті паркові насадження каштанів у природній зоні лісового масиву «Феофанія», що зазнає мінімального впливу техногенного забруднення.

Відбір зразків ґрунту і рослин (листки, кора 2–4-річних гілок, коріння) проводиться по просп. Ю. Гагаріна (рівна траса) і просп. Науки (крутий схил) з інтенсивним рухом автотранспорту. Деревні насадження розташовані вздовж автотраси і тротуару.

Ґрунт і коріння відбирали по методу змішаного зразка на глибині 0–50 см. Зразки однорічних пагонів, листків і кори з 2–4-річних гілок відбирали з нижнього ярусу

крони, при цьому два відбори проводились з двох сторін крони від автотраси, третій відбір – від тротуару.

Для кожної тест-групи гіркогоштанів відбирались по 10 дерев 25–35-річного віку та по 30 листків і однорічних пагонів із кожного дерева.

Дослідження проводились:

1) за фізико-хімічними і біохімічними показниками екологічного стану ґрунту в зоні кореневої системи (едафічні показники рН, уміст води, гумусу, легкогідролізованого азоту, Ca і Mg); у системі ґрунт–рослина визначали вміст золи, концентрацію фітотоксичних елементів Na, Cl, Pb, Cd (Методическое пособие, 1987).

Уміст іонів Na⁺ (рухома форма) визначали за методом полум'яної фотометрії на фотометрі Flapho-4, іонів Cl⁻ (рухома форма) – прискореним біохімічним методом за Х. М. Починком (1976), відповідно концентрацію важких металів Pb і Cd (рухома форма) – методом атомно-абсорбційної спектроскопії на приладі ААС-3, уміст золи в листках, корі та корінні за загальноприйнятим методом (Ермаков, 1987).

Коефіцієнти накопичення (K_n) вираховували як відношення кількісного вмісту елемента в листках каштанів вуличних насаджень до його вмісту в листках контрольного тест-об'єкта (Случик, 2000);

2) за біоіндикаторними показниками функціонального стану рослин:

– зміна макрометричних показників реакції-відповіді рослинних організмів на дію стресових факторів (некрози «риб'ячий скелет», крайові некрози, верхівкові некрози сегментів листка, точкові і плямові некрози, повний хлороз листової пластинки і хлороз сегментів листка, дефоліація крони дерев (Патика, 2002));

– морфологічні показники як маркери зміни ростових процесів (величина річного приросту пагонів, площа листків, довжина і ширина центрального сегмента листків, висота і товщина стовбура, кількість сухої речовини та вміст води у листках). При цьому площу листків гіркогоштану звичайного визначали методом висічок (Молчанов, 1967).

Індекс стійкості рослин (I_c) до дії надмірних концентрацій фітотоксичних елементів вираховували по відношенню величини даного морфологічного показника вуличних насаджень гіркогоштану до величини цього показника в рослинах контрольного тест-об'єкта.

Статистичну обробку отриманих даних проводили за стандартними методиками з використанням програми MS Excel з довірчою вірогідністю 0,95 (Лакин, 1990).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Функціональний стан рослинного організму гіркогоштану звичайного вивчали за такими напрямками:

– біоаккумуляція фітотоксичних елементів (Na, Cl, Pb, Cd) у системі ґрунт–рослина як стресового фактора в умовах техногенного забруднення довкілля Київського мегаполісу;

– макроморфологічні зміни як фітоіндикатори реакції-відповіді рослин на дію стресового рівня накопичення токсичних елементів у фітомасі дерев;

– оцінка рівня пригнічення ростових процесів за маркерними морфологічними показниками;

– пошкодження листків каштану природними листоїдними шкідниками як фактора, що впливає на реакцію-відповідь рослинного організму в умовах техногенного навантаження.

Гіркокаштанові насадження київських вулиць зазнають багатофакторної дії різних властивих мегаполісу стресових чинників. У проведених дослідженнях вирізнили тільки частину з них, проти яких рослинний організм не має достатньо ефективних детоксикуючих біохімічних і фізіологічних захисних механізмів.

На наш погляд, до найбільш небезпечних для стану навколишнього середовища столиці належать фітотоксичні елементи Na, Cl, Pb і Cd.

Джерелом надходження іонів Na⁺ і Cl⁻ у довкілля є необмежене і неконтрольоване використання технічної солі NaCl у боротьбі зі сніговим покривом та обледе-

нінням автотрас і тротуарів, при цьому елементи проникають у ґрунт разом із талою водою і накопичуються у токсичних для рослин концентраціях (Глькун, 1978).

У 60-ті роки минулого століття дослідники вважали, що катіон Na^+ є нейтральним, а токсичність солі NaCl залежить від аніону Cl^- (Гончарик, 1968). На сьогодні погляди на роль катіонів Na^+ в життєдіяльності рослин змінюються: елемент натрій вважається токсичним і не є необхідним макроелементом для рослин (Веселов, 2007; Радюкіна, 2008).

Відомо, що токсичність лужного катіона Na^+ визначається концентрацією йонів, типом тканин різних органів і видом рослин: коефіцієнт токсичності (K_T) для рослин томатів при концентрації Na 5,0 мг.екв/л у поживній суміші становив для листків K_T – 2,7; стебла – 1,59; коріння – 0,5 (Кабанов, 1974). Високі концентрації забруднення доквілля NaCl викликають порушення всіх життєвих процесів у клітинах унаслідок утворення і накопичення токсинів як продуктів розвитку процесів окислення ліпідів клітинних мембранних систем. Стійкість до дії NaCl визначається функціонуванням комплексу захисних метаболічних процесів із включенням, як необхідних компонентів, стрес-індукованого накопичення проліну, СОД з високою активністю та різних форм антиоксидантної системи пероксидази (Карташов, 2008; Радюкіна, 2008). При цьому експериментально доведено, що накопичення проліну при надлишку NaCl є реакцією на лужні катіони Na^+ і роль аніона Cl^- незначна (Кабанов, 1974).

Окрім токсичного фактора дії NaCl при стресовій концентрації, яка переважно зв'язана з накопиченням катіонів Na^+ у цитоплазмі клітини, у науковій літературі обговорюється інший механізм дії NaCl – як осмотичного фактора, коли при надмірних концентраціях солі порушується продихова провідність, підвищується осмотичний тиск ґрунтового розчину, що обумовлює дефіцит води у рослинах (Веселов, 2007).

У столиці України традиційне використання технічної солі NaCl у зимовий період призводить до забруднення ґрунту та фітомаси каштанів елементами Na і Cl у надмірних концентраціях. Рівні забруднення ґрунту і фітомаси (листки, кора, коріння) гіркого каштану звичайного йонами Na^+ і Cl^- наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Рівень забруднення ґрунтів та фітомаси деревних рослин гіркого каштану звичайного фітоотоксичними – Na , Cl – елементами у вуличних насадженнях м. Києва

Зона екомоніторингу	Na^+ (рухома форма)				Cl^- (рухома форма), %			
	ґрунт, мг.екв/100г	Коріння, %	Кора, %	Листки, %	ґрунт	Коріння	Кора	Листки
Парк лісового масиву «Феофанія»	0,10±0,01	0,33±0,02	0,34±0,02	0,42±0,02	0,029±0,011	1,65±0,25	4,58±0,36	5,34±0,49
Просп. Ю.Гагаріна	1,12±0,13	0,59±0,05	0,50±0,02	1,62±0,027	0,021±0,001	1,42±0,09	3,41±0,25	5,27±0,41
Просп. Науки	1,67±0,14	0,98±0,11	0,78±0,04	2,02±0,24	0,024±0,002	1,48±0,22	3,55±0,31	5,21±0,33
ГДК	0,60	Законодавчо не встановлена			17,5 мг/кг	Законодавчо не встановлена		

Необхідно відмітити, що відбір ґрунту і рослин (листки, кора, коріння) проводився в кінці липня, коли практично закінчуються ростові процеси і концентрація Na , Cl є найнижчою внаслідок поглинання рослинами та вимивання з ґрунту літніми дощами.

Проте Na -забруднення ґрунту в зоні кореневої системи каштанів у вуличних насадженнях порівняно з контрольним тест-об'єктом (0,17 ГДК) зростає до 1,87 ГДК (просп. Ю.Гагаріна) і 2,78 ГДК (просп. Науки). Відповідно зростає концентрація йонів Na^+ у фітомасі рослин залежно від рівня Na -забруднення ґрунту та типу тканин (листки, кора, коріння) рослинного організму. Порівняно з контрольним тест-

об'єктом фітомаса міських каштанів акумулювала йони Na^+ у надмірних, токсичних концентраціях. Найвищу Na -акумулюючу здатність мали листки, оскільки концентрація Na перевищувала контроль в 4,0–4,8 разу, відповідно у корінні – 2,06–2,74 разу, корі – 2,6–3,2 разу. Отже, накопичення йонів Na^+ у листках, корі і корінні відбувається пропорційно вмісту елемента в ґрунті з переважним накопиченням в асиміляційній системі дерев.

Подібної закономірності не спостерігається при акумуляції йонів Cl^- у фітомасі дерев. Незалежно від Cl^- -забруднення ґрунту концентрація елемента в листках міських каштанів була високою (5,21–5,27 %) і практично знаходилась на рівні контрольного тест-об'єкта (5,34 %) . При цьому у корінні і корі накопичення йонів Cl^- порівняно з листками знизилось у 3,5–3,7 разу та 1,46–1,54 разу відповідно.

Небезпечний рівень техногенного забруднення виявлений за вмістом важких металів Pb і Cd у ґрунті та фітомасі гіркого каштану звичайного (табл. 2).

Таблиця 2

Рівень забруднення ґрунтів і фітомаси деревних рослин гіркого каштану звичайного важкими металами у вуличних насадженнях м. Києва

Зона екомоніторингу	Pb^{2+} (рухома форма), мг/кг				Cd^{2+} (рухома форма), мг/кг			
	ґрунт	Коріння	Кора	Листки	ґрунт	Коріння	Кора	Листки
Парк лісового масиву «Феофанія»	17,98±3,01	3,31±0,69	9,54±0,99	7,89±0,51	0,33±0,05	0,25±0,05	0,56±0,07	0,63±0,04
Просп. Ю. Гагаріна	21,44±3,05	6,11±2,06	14,64±0,68	7,95±0,69	0,39±0,05	0,40±0,06	0,68±0,07	0,54±0,06
Просп. Науки	102,70±20,90	13,37±2,00	17,67±2,04	8,21±0,42	0,55±0,06	0,45±0,04	0,73±0,05	0,50±0,04
ГДК	2,0	0,5	0,5	0,5	0,7	0,3	0,3	0,3

Важкі метали Pb і Cd надходять у довкілля міста від автотранспортних викидів. Крім того, Cd -забруднення підсилюється за рахунок спалювання сміттєвих і промислових відходів, що містять цей елемент (Бериня, 1980).

Невпинне зростання кількості автотранспорту на вулицях міста супроводжується таким же невпинним зростанням концентрації йонів Pb^{2+} і Cd^{2+} у ґрунті та фітомасі гіркого каштанів. Як наслідок, концентрація йонів Pb^{2+} (рухома форма) у ґрунті в зоні кореневої системи дерев гіркого каштану залежно від їх розташування вздовж автотраси та інтенсивності руху автотранспорту знаходилась у межах 10,72 (просп. Ю. Гагаріна) – 51,35 ГДК (просп. Науки), що за нормативними оцінками є кризовими (Гуральчук, 2006).

Незалежно від рівня Pb -забруднення ґрунту концентрація елемента в листках міських каштанів практично знаходиться на одному рівні з контрольным тест-об'єктом, проте з небезпечним перевищенням гранично допустимої концентрації в межах 15,9–16,4 ГДК.

Переважно йони Pb^{2+} акумулювалися в корі та корінні залежно від їх концентрації у ґрунті. Порівняно з контрольным тест-об'єктом концентрація елемента в корінні зростала від 2 (просп. Ю. Гагаріна) до 4 (просп. Науки) разів відповідно, 12,2–25,7 ГДК, у корі – 29,3–35,3 ГДК, що перевищує вдвічі вміст елемента в листках, та 1,5–1,8 разу відносно контролю і за нормативними оцінками є критичними рівнями Pb -забруднення рослин.

Рівень забруднення ґрунту йонами Cd^{2+} у рухомій формі в паркових і вуличних насадженнях гіркого каштану виявився нижче гранично допустимої концентрації (0,47–0,78 ГДК). Проте концентрація елемента в листках міських каштанів зростає до токсичного рівня (1,67–1,80 ГДК). Кора і коріння мали найвищу Cd -акумулюючу здат-

ність: відносно контрольного тест-об'єкта концентрація йонів Cd^{2+} міських каштанів зростала на 30,0–46,0 % для кори і 60,0–80,0 % для коріння.

Свинець і кадмій належать до числа небезпечних важких металів, техногенне забруднення якими довкілля Києва катастрофічно зростає. Крім того, ці елементи є найбільш токсичними, оскільки мають високий кумулятивний ефект, не піддаються біодеградації та практично не виводяться із рослинного організму.

Токсичність йонів Pb^{2+} і Cd^{2+} та механізм їх дії на молекулярному і клітинному рівні, окремих органів і цілісного організму достатньо добре вивчені та висвітлені у науковій літературі (Серегин, 2001; Григорюк, 2004; Маракаєв, 2006).

Надмірні концентрації важких металів Pb і Cd, як і NaCl, є стресовими факторами, і реакція-відповідь рослинного організму на їх дію розвивається за одним і тим же механізмом. Під впливом Pb і Cd відбувається дезінтеграція мембранних систем клітин та підвищення їх проникності внаслідок активації перекисного окислення мембранних ліпідів, що приводить до зміни активності ферментних систем, порушення синтезу білків, деградації молекул хлорофілу з наступним гальмуванням фотосинтетичних процесів (Савинов, 2007).

Отже, акумуляція елементів залежить від їх хімічних властивостей, концентрації елементів у довкіллі та типу тканин рослинного організму. Ця закономірність чітко проявляється за величинами коефіцієнтів накопичення (K_n) (табл. 3).

Таблиця 3

Коефіцієнти накопичення (K_n) фітотоксичних елементів у фітомасі гіркогокаштану звичайного у вуличних насадженнях м. Києва

Фітотоксичні елементи (рухома форма)	K_n елементів					
	Просп. Ю. Гагаріна			Просп. Науки		
	Листки	Кора	Коріння	Листки	Кора	Коріння
Na^+	3,86	1,47	1,79	4,81	2,29	2,97
Cl^-	0,99	0,74	0,86	0,98	0,77	0,90
Pb^{2+}	1,01	1,53	1,84	1,04	1,85	4,00
Cd^{2+}	0,86	1,21	1,60	0,79	1,30	1,80

Залежно від рівня Na-забруднення ґрунту K_n для натрію в листках у 2,0–2,5 рази вищий, ніж у корі і корінні. Високий K_n для лужного катіону Na^+ листків, можливо, обумовлений тим, що при надмірних концентраціях NaCl послаблюється селективна здатність кореневої системи, внаслідок чого підсилюється безбар'єрне надходження елемента натрію в клітини тканин і органів, що визначає високу чутливість рослин гіркогокаштану до дії солі NaCl (Валиханова, 1973).

Величини K_n для йонів Cl^- у досліджених органах і тканинах кори знаходяться на одному рівні та не перевищують 1,0 незалежно від рівня Cl^- -забруднення ґрунту.

Для важких металів Pb і Cd за величинами K_n закономірність їх накопичення в різних типах тканин виявилась протилежною елементу натрію: K_n для коріння і кори до 4,0 разу вищий відносно листків (для Pb) і в 2,3 разу для Cd.

Найнижча величина K_n для Pb і Cd у листках незалежно від концентрації елементів у ґрунті, можливо, обумовлена, як і для елемента Cl^- , наявністю у рослин ефективних фізіологічних і біохімічних механізмів захисту асиміляційної системи на рівні фізіологічних бар'єрів надходження елементів та біохімічних систем зв'язування і знешкодження їх токсичної дії (Серегин, 2001; Кузнецова, 2008).

Опосередкованим доказом високого рівня металоакумулюючої здатності рослин каштану є вміст золи (рис. 1).

Рівень умісту золи залежить від концентрації фітотоксичних елементів у довкіллі та металоакумулюючої здатності різних органів і тканин (Маракаєв, 2006).

Найвищу акумулюючу здатність мають листові пластинки, при цьому максимальний вміст золи спостерігався для дерев, які росли в зоні найбільшого техноген-

ного навантаження. Така висока акумулююча здатність листяного покриву крони сприяє видаленню токсичних речовин з ґрунту і атмосфери. Найнижча зольність виявлена для коріння (5,3–6,0 %), зольність кори коливається в межах 6,50–8,55 % залежно від рівня техногенного забруднення. Завдяки високій акумулюючій здатності та чутливості до надлишкових концентрацій токсикантів каштанові вуличні насадження можуть використовуватись як акумулятивні біоіндикатори техногенного забруднення довкілля міста.

Токсична дія найбільш небезпечних для довкілля Києва елементів (Na, Cl, Pb, Cd) зовнішньо проявляється у вигляді некрозного (темно-буре омертвіння тканин листків), хлорозного (пожовтіння листків внаслідок руйнування молекул хлорофілу) ураження листків та гальмування ростових процесів (Патика, 2002).

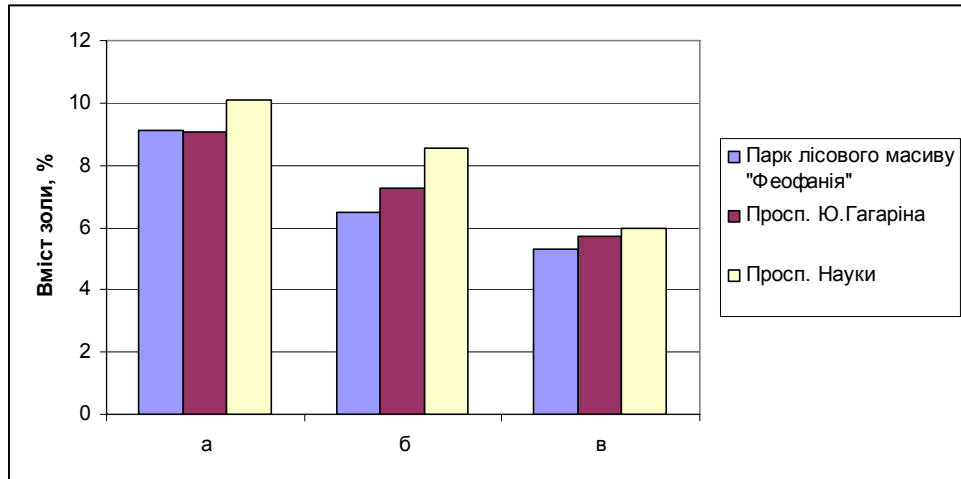


Рис. 1. Уміст золи (%) у листках (а), корі (б) та корінні (в) гіркого каштану звичайного в умовах техногенного забруднення довкілля м. Києва

Дані кількісної та якісної оцінки ступеня ураження листків гіркого каштану різними формами некрозу та хлорозу наведені в табл. 4.

При 100%-вій некротизації листяного покриву крони ступінь і характер некрозного та хлорозного ураження самої листкової пластинки залежить від рівня накопичення фітотоксичних елементів у фітомасі рослин, особливо у листках. У рослин з найвищим рівнем техногенного забруднення (просп. Науки) виявили ураження некрозом «риб'ячий скелет» (коли відбувається злиття крайового і міжжилкового некрозу) у 36,18 % листків крони з шириною некрозної кайми 46,11 мм відповідно, крайовим некрозом – 60,18 % листків з некрозною каймою 10,79 мм, некрозом верхівок сегментів – 3,69 % листків з некрозною каймою 13,77 мм, точковим і плямовим некрозом – 57,28 % листяного покриву при 100%-вому ураженні листків з повним хлорозом (58,67 %) і хлорозом верхівок сегментів (41,33 %). При цьому зниження рівня техногенного навантаження супроводжується зниженням ступеня некрозного і хлорозного ураження (просп. Ю. Гагаріна).

Ураження листків гіркого каштану в парковій зоні лісового масиву «Феофанія» виявили тільки на рівні точкових і плямових некрозів у 29,17 % листяного покриву крони (13,86 точок на листок) внаслідок надлишкових концентрацій фітотоксичних елементів у листках та пошкодження мінуючою каштановою міллю.

Високий ступінь некротизації асиміляційної системи крони пригнічує фотосинтетичну функцію, і тим сильніше, чим більша площа ураження листкової пластинки, що призводить до зміни інтенсивності росту і розвитку рослин (Ількун, 1978). Порушення морфогенезу, як один із основних наслідків і неспецифічних симптомів дії

різних стрес-факторів, зміна рівня ростових процесів і приросту біомаси є основними показниками життєздатності рослин в умовах техногенного забруднення (Гришко, 1999; Думитрюк, 1996, 2004; Случик, 2000; Парпан, 2009).

Основними індикаторними маркерами зміни ростових процесів є морфофізіологічні показники рослин: морфометричні показники – величина річного приросту, площа і довжина листкової пластинки, ширина центрального сегмента листка та фізіологічні показники – біомаса сухої речовини та вміст води в листках гіркокаштану.

На основі кількісних вимірів маркерних морфометричних та фізіологічних показників проведена комплексна оцінка ступеня гальмування ростових процесів за методом векторних діаграм (рис. 2).

Був виявлений зворотний зв'язок між металоакумуляуючою здатністю органів та ступенем пригнічення ростових процесів. Залежно від концентрації фітотоксичних елементів у ґрунті та фітомасі каштану кількість сухої речовини у листках знизилась на 15,13 % (просп. Ю.Г. Гагаріна) – 30,0 % (просп. Науки) відповідно, площа листків – 17,5–36,3 %; ширина центрального сегмента листків – 24,5–36,2 %, довжина листків – 6,0–10,0 %, річний приріст – 34,8–35,0 %, що опосередковано свідчить про пригнічення інтенсивності метаболічних процесів за умов кризових рівнів забруднення рослин фітотоксичними елементами (Коршиков, 1996; Парпан, 2009;). При цьому оводненість листків каштану, незалежно від рівня техногенного забруднення, знаходилась практично на одному рівні (65,0–65,36 %).

Аналогічна закономірність спостерігалась при дослідженні життєздатності рослин і чутливості окремих органів за величинами індексу стійкості (I_c) (рис. 3).

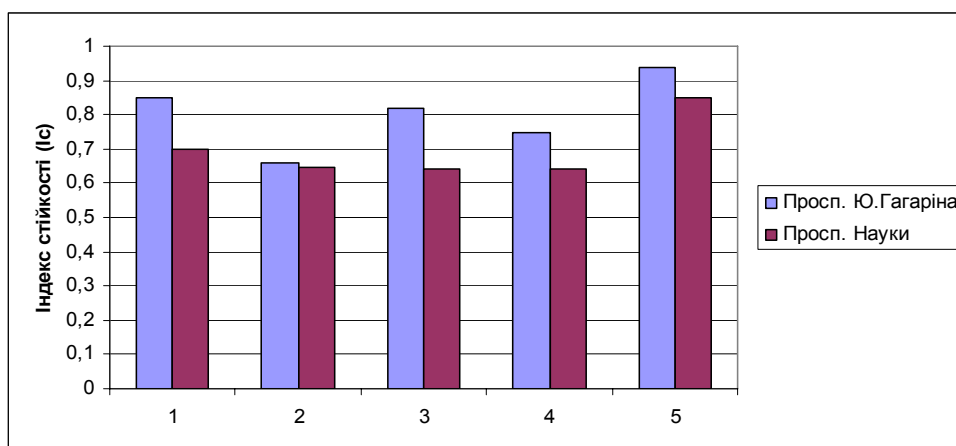


Рис. 3. Індекс стійкості (I_c) гіркокаштану звичайного за морфофізіологічними показниками ростових процесів залежно від рівня накопичення фітотоксичних елементів у фітомасі рослин:

1 – кількість сухої речовини в листку; 2 – річний приріст пагонів; 3 – площа листка; 4 – ширина центрального сегмента листка; 5 – довжина центрального сегмента листка

Зміна величини I_c залежить від рівня забруднення фітомаси рослин токсикантами та інформативності самого показника росту і розвитку рослин. Для досліджених морфофізіологічних показників I_c знаходився нижче одиниці, що свідчить про пригнічення життєздатності та стійкості гіркокаштанів в умовах кризового техногенного навантаження.

При максимальних концентраціях (просп. Науки) найменших морфофізіологічних змін зазнали показники довжини листка (0,85). Найбільш чутливими виявились площа листка (0,64), ширина центрального сегмента листка (0,64) та річний приріст (0,65).

Отже, рівні техногенного забруднення найбільш небезпечними для довкілля міста фітотоксичними елементами за нормативними оцінками є кризовими і знаходяться за межею толерантності, адаптивності та виживання рослин.

Незважаючи на те що на реакцію-відповідь рослин діють багатофакторні чинники техногенного забруднення довкілля, можна виділити найбільш агресивну токсичність іонів Na^+ : між рівнем акумуляції йонів натрію в листках і K_n та ступенем некротизації листків і I_c існує пряма залежність. Для елементів Cl , Pb і Cd подібної закономірності не виявлено.

Із даних модельного досліду відомо, що концентрація 0,01 % Na^+ у поливній воді викликає опік і відмирання країв листка, і цей процес прогресує по листку до центральної жилки (некроз «риб'ячий скелет»). Листки крони каштану вуличних насаджень уражені аналогічним характером некрозу з наступною дефоліацією, що є захисною реакцією на токсичну дію NaCl (Костіна, 1974).

Таким чином, можна зробити висновок, що основний вклад у некрозне ураження листків належить іонам Na^+ , що підтверджується статистичним аналізом кореляційних взаємозв'язків між рівнем Na -забруднення в системі ґрунт–рослина, ступенем некрозного ураження та морфометричними параметрами ростових процесів (табл. 5).

Таблиця 5

Кореляційний взаємозв'язок між рівнем техногенного забруднення і показниками функціонального стану гіркого каштану звичайного

Елементи	Накопичення елементів у системі ґрунт–листки	Коефіцієнт кореляції, r			
		Ширина некрозної кайми, мм	Площа листка, cm^2	Ширина листка, мм	Довжина листка, мм
Na	Ґрунт	0,77	-0,68	-0,74	-0,60
	Листки	0,69	-0,67	-0,76	-0,50
Cl	Ґрунт	0,39	-0,38	-0,40	-0,25
	Листки	0,15	-0,18	-0,18	-0,04
Pb	Ґрунт	0,27	-0,44	-0,55	-0,24
	Листки	0,13	-0,01	-0,07	-0,03
Cd	Ґрунт	0,26	-0,41	-0,45	-0,19
	Листки	0,33	-0,19	-0,28	-0,10
Ширина некрозної кайми, мм	Листки		-0,65	-0,71	-0,69

При визначенні кореляційних взаємозв'язків установили наявність позитивних залежностей між умістом іонів Na^+ у системі ґрунт–листки та ступенем некротизації листової пластинки при значенні коефіцієнта кореляції Пірсона відповідно у системі ґрунт–некроз (0,77), листки–некроз (0,69).

Негативні кореляційні залежності були виявлені між умістом натрію у системі ґрунт–листки та морфометричними параметрами росту рослин відповідно по ширині центрального сегмента листка (-0,74 і -0,76), площі листка (-0,68 і -0,67), довжині листка (-0,60 і -0,50) на рівні статистично сильних і середніх кореляційних взаємозв'язків.

Кореляційна залежність між накопиченням іонів Cl^- , Pb^{2+} , Cd^{2+} у системі ґрунт–листки та некротизацією листків і параметрами ростових процесів виявилась на рівні статистично слабких і дуже слабких кореляційних взаємозв'язків. Тільки кореляція між концентрацією Pb^{2+} і Cd^{2+} у ґрунті та параметрами росту знаходились на рівні середнього статистичного взаємозв'язку (-0,41 і -0,55).

Необхідно відмітити незадовільний хімічний стан ґрунтів на вулицях Києва. Для ґрунту в зоні кореневої системи гіркого каштану звичайного, незалежно від місця розташування і рівня техногенного забруднення властивим є низький уміст гумусу

(0,55–1,60 %). Уміст гумусу > 2,0 % зустрічався тільки біля поодиноких дерев при внесенні природного ґрунту. За нормативними оцінками вміст у ґрунті легкогідролізованого азоту (6,17–11,75 мг/100 г), Са (4,95–7,68 мг.екв/100 г), Mg (0,47–0,83 мг.екв/100 г ґрунту) є низьким, при цьому дефіцит Mg у ґрунті в зоні кореневої системи є критичним для росту і розвитку рослин.

Особливо небезпечним є критично низький уміст води у ґрунті в зоні кореневої системи гіркогоаштанів (4,5–8,5 %) при лужній реакції, яка досягла рН 7,8 (просп. Науки) внаслідок Na-забруднення, створюючи для рослин ефект «фізіологічної посухи» та «мертвого ґрунту» при пригніченні його мікрофлори, що не сприяє нормальному розвитку кореневої системи (Волощинська, 2008).

Також на реакцію–відповідь рослин на дію стресових факторів в умовах Київського мегаполісу впливають пошкодження листків і листяного покриву крони гіркогоаштану природними листоїдними шкідниками. Отримані дані свідчать, що залежно від рівня накопичення фітотоксичних елементів у листках ступінь пошкодження листяного покриву дерев листоїдними шкідниками знижується (табл. 6).

Таблиця 6

Пошкодження листків гіркогоаштану звичайного листоїдними шкідниками при різних рівнях техногенного забруднення

Зона еко-моніторингу	Пошкодження мінуючою мілью				Кількість листків, % від пошкоджених	Пошкодження листоїдними шкідниками (порізані, обрізані, виїдені ділянки листової пластинки)	
	Кількість пошкоджених дерев шкідниками, %	Кількість пошкоджених листків, %	Площа ураження листової пластинки			Кількість пошкоджених дерев, %	Кількість пошкоджених листків, %
			Бал	%			
Парк лісового масиву «Феофанія»	100	100	7	100	18,88±2,09	100	46,00±3,68
			6	75,0	56,13±4,14		
			5	50,0	25,00±3,21		
Просп. Ю. Гагаріна	100	62,67±6,46	1	2,0	94,86±2,00	100	43,67±4,59
			2	5,0	5,14±1,18		
Просп. Науки	100	67,22±8,26	1	2,0	58,82±4,71	100	18,93±3,36
			2	5,0	41,18±3,25		

Якщо у паркових каштанових насадженнях лісового масиву «Феофанія» з найнижчим рівнем накопичення фітотоксичних елементів спостерігалось 100 % заселення дерев зі 100%-вим ураженням листків крони мінуючою каштановою мілью (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986) на рівні 5–7 балів, що відповідає пошкодженню 50–100 % площі листової пластинки на останніх стадіях розвитку шкідника (міна гусениць 5–6 віків, екзувій лялечки після виходу імаго), то у вуличних насадженнях пошкодження листків знижується на 32,8–37,0 % з ураженням листової пластинки переважно на рівні 1–2 бали (пошкодження 2,0–5,0 % площі листка) на 1–2-й стадіях розвитку (міна гусениці 1-го віку) (Зерова, 2007).

Пошкодження листків великими листоїдними шкідниками залежно від концентрації елементів у фітомасі знизилось від 43,7 до 18,9 % із незначними пошкодженнями листової пластинки (3,3 уражень на листок). У паркових каштанів кінських суцільне пошкодження листків мінами практично витіснило всіх інших листоїдних шкідників.

Таким чином, мінуюча каштанова міль не є причиною тотального побуріння листяного покриву крони вуличних гіркогоаштанів.

Базуючись на результатах досліджень, вважаємо, що основною причиною катастрофічного функціонального стану каштанів у вуличних насадженнях столиці є кризові рівні техногенного забруднення фітотоксичними елементами Na, Cl, Pb і Cd, де основним чинником некротизації листків є йони Na⁺.

ВИСНОВКИ

При дослідженні у зелених зонах Київського мегаполісу функціонального стану рослинних організмів гіркокаштану звичайного, як біоіндикаторів забруднення довкілля фітотоксичними елементами Na, Cl, Pb і Cd, встановлено:

1. Рівні техногенного забруднення з найбільш небезпечними для довкілля міста фітотоксичними елементами за нормативними оцінками є кризовими і знаходяться за межею толерантності, адаптивності та виживання рослин.

2. Основною причиною катастрофічного функціонального стану рослинних організмів гіркокаштану звичайного в умовах урбосередовища є кризові рівні техногенного забруднення ґрунту і фітомаси Na і Cl, джерелом яких є використання солі NaCl в зимовий період, та важкі метали Pb і Cd автотранспортних газових викидів:

– кризові концентрації елементів у ґрунті та фітомасі рослин (листки, кора, коріння) викликають 100%-ве ураження листяного покриву крони і 20,65–86,4 % площі листової пластинки некрозом і хлорозом із різним характером та ступенем ураження;

– пригнічення ростових процесів за маркерними показниками річного приросту на 34,8 % відповідно, площі листків – 36,3 %; довжини листків – 10,0 %; ширини центрального сегмента листків – 36,2 %; абсолютно сухої біомаси листків – 30,8 %.

3. Найбільш небезпечними для життєдіяльності рослин є йони Na^+ :

– іони Na^+ переважно акумулюються асиміляційною системою рослин у кризових концентраціях (1,62–2,02 %) пропорційно Na-забрудненню ґрунту;

– коефіцієнт накопичення K_n найвищий для йонів Na^+ і зростає пропорційно накопиченню елемента в листках ($K_n = 3,86\text{--}4,81$);

– індекс стійкості (I_c) рослин для морфологічних показників ростових процесів знижується пропорційно K_n йонів Na^+ у листках;

– коефіцієнти кореляції (r) між умістом йонів Na^+ у системі ґрунт–листки та ступенем некрозного ураження листків і ростовими процесами виявились на рівні статистично достовірних кореляційних взаємозв'язків.

4. При кризових концентраціях фітотоксичних елементів у фітомасі знижується ступінь пошкодження листяного покриву крони каштанів листопадними шкідниками:

– у вуличних насадженнях каштанів ступінь пошкодження листків мінуючою каштановою міллю знизилась на 37,4 %, пошкодження листової пластинки на рівні 1–2 балів (пошкодження 2,0–5,0 % площі листка) на 1–2-й стадії розвитку (міни гусениць 1–2-го віку);

– у паркових насадженнях каштану кінського у лісовому масиві «Феофанія» виявлено 100 % пошкодження листків крони мінами на рівні 5–7 балів (пошкодження 50–100 % площі листка) на останніх стадіях розвитку (міни гусениць 5–6-го віків з екзuviaми лялечки після виходу імаго);

– реальною причиною тотальної некротизації листяного покриву крони на вулицях Києва є кризові рівні техногенного забруднення довкілля фітотоксичними елементами, оскільки ступінь пошкодження листків мінуючою каштановою міллю в існуючих умовах не може бути головною загрозою для каштанів міста.

Проаналізований інформативний ряд біохімічних показників рівня забруднення фітотоксичними елементами та морфометричних і фізіологічних показників некротизації листків та ростових процесів може бути використаний як біоіндикаційний маркер урботехногенного забруднення довкілля Київського мегаполісу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Бериня Дз. Ж. Распределение выпадений выбросов автотранспорта и загрязнение почв придорожной полосы / Дз. Ж. Бериня, Л. К. Калвина // Воздействие выбросов автотранспорта на природную среду. – Рига : Зинатне, 1989. – С.22-35.

Валиханова Г. Ж. Действие засоления среды на содержание ионов натрия и калия и на АТФ-азную активность митохондриальной и цитоплазматической фракции гороха / Г. Ж. Валиханова, Л. К. Клышев // Физиология растений. – 1973. – Т. 20, вып. 2. – С. 392-397.

Веселов Д. С. Реакция растений на засоление и формирование солеустойчивости / Д. С. Веселов, И. В. Маркова, Г. Р. Кудоярова // Успехи современной биологии. – 2007. – Т. 127, № 5. – С. 428-493.

- Волошинська С. С.** Рослини як біоіндикатори техногенного пресу на екосистеми м. Ковеля / С. С. Волошинська // Науковий вісник Чернівецького ун-ту. – Чернівці : Рута, 2008. – Вип. 417. – С. 168-173.
- Гончарик М. Н.** Физиологическое влияние ионов хлора на растения / М. Н. Гончарик. – Минск : Наука и техника, 1968. – 250с.
- Гришко В. Н.** Ростовые процессы у древесных растений, произрастающих в условиях городской среды с техногенной нагрузкой различной степени / В. Н. Гришко // ДАН України. – 1999. – № 8. – С.179-182.
- Григорюк І. П.** Біологія каштанів / І. П. Григорюк, С. П. Машковська, П. П. Яворовський, О. В. Колесніченко. – К. : Логос, 2004. – 380 с.
- Гуральчук Ж. З.** Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії / Ж. З. Гуральчук. – К. : Логос, 2006. – 208 с.
- Думитрюк Г. В.** Морфологічні показники *Tilia cordata* Mill як біоіндикаційна ознака антропопресії / Г. В. Думитрюк, Л. Т. Оплачко // Науковий вісник Чернівецького ун-ту: Біологія. – 2004. – Вип. 194. – С. 80-86.
- Ермаков А. И.** Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков, В. В. Арасимович, Н. П. Яраш. – Л. : Агропромиздат, 1987. – 400 с.
- Зерова М. Д.** Мониторинг каштановой минирующей моли / М. Д. Зерова, Г. Н. Никитенко, Н. Б. Нарольский и др. // Каштановая минирующая моль в Украине. – К. : ТОВ «Верес», 2007. – 87 с.
- Илькун Г. М.** Очищення повітря рослинами від сполук свинцю / Г. М. Илькун, М. О. Маховська // Укр. бот. журн. – 1978. – Т. XXXV, № 3. – С. 246-251.
- Илькун Г. М.** Загрязнители атмосферы и растения / Г. М. Илькун. – К. : Наук. думка, 1978. – 246 с.
- Кабанов В. В.** Токсичность щелочных металов катионов для растений томатов / В. В. Кабанов, Н. А. Мясоедов // Физиология растений. – 1974. – Т. 26, вып. 2. – С. 391-397.
- Кабанов В. В.** Влияние щелочных элементов на состав азотсодержащих соединений листьев томатов / В. В. Кабанов, Н. А. Мясоедов // Физиология растений. – 1974. – Т. 21, вып. 6. – С. 1223-1229.
- Карташов А. В.** Роль систем антиоксидантной защиты при адаптации дикорастущих видов растений к солевому стрессу / А. В. Карташов, Н. Л. Радюкина, Ю. В. Иванов и др. // Физиология растений. – 2008. – Т. 55, № 4. – С. 516-522.
- Коршиков И. И.** Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды / И. И. Коршиков. – К. : Наук. думка, 1996. – 239 с.
- Костіна Г. О.** Градієнтний розподіл хлору й золи в рослинах та його екологічне значення / Г. О. Костіна // Укр. бот. журн. – 1974. – XXXI, № 3. – С. 322-327.
- Кузнецова Т. Ю.** Влияние кадмия на состав жирных липидов в побегах карельской березы *in vitro* / Т. Ю. Кузнецова, Л. В. Ветчинникова, А. Ф. Титов, М. К. Ильинова. // Физиология растений. – 2008. – Т. 55, № 5. – С. 731-737.
- Лакин Г. Ф.** Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М. : Высш. шк., 1990. – 352 с.
- Левон Ф. М.** Вуличні насадження Києва: сучасний стан, шляхи оптимізації / Ф. М. Левон // Науковий вісник НАУ: Лісівництво. – 1999. – № 20. – С. 109-118.
- Маракаев О. А.** Техногенный стресс и его влияние на листовые древесные растения (на примере парков г. Ярославля) / О. А. Маракаев, Н. С. Смирнова, Н. В. Загоскина // Экология. – 2006. – № 6. – С. 410-414.
- Методическое пособие** по аналитическим работам для агрохимической службы Украинской ССР / Отв. В. Ф. Цыфир // Украинский филиал ЦИНАО. – К., 1989. Часть 1. – 118 с.
- Молчанов А. А.** Методика для изучения прироста древесных растений / А. А. Молчанов, В. В. Смирнов. – М. : Наука, 1967. – 143 с.
- Парпан В. І.** Морфологічні особливості *Populus pyramidalis* Ros. в умовах урботехногенного забруднення середовища / В. І. Парпан, М. М. Миленька // Екологія та ноосферологія. – 2009. – Т. 20, № 3-4. – С. 84-90.
- Патика В. П.** Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель / В. П. Патика, Р. І. Бурда // Методи фітоіндикації в системі агроекологічного моніторингу. – К. : Фітосоціоцентр, 2002. – С. 169-177.
- Починок Х. Н.** Методы биохимического анализа растений / Х. Н. Починков. – К. : Наук. думка, 1976. – 334 с.
- Радюкина Н. Л.** Участие пролина в системе антиоксидантной защиты у шалфея при действии NaCl и парах хлора / Н. Л. Радюкина, А. В. Шашукова, Н. И. Шевякова, Вл. В. Кузнецов // Физиология растений. – 2008. – Т. 55, № 5. – С. 721-730.
- Савинов А. Б.** Интенсивность перекисного окисления липидов у *Taraxacum officinale* Wigg. и *Vicia cracca* L. в биотопах с разными уровнями загрязнения почв тяжелыми металлами / А. Б. Савинов, Л. Н. Курганова, Ю. И. Шекунов // Экология. – 2007. – № 3. – С. 191-197.

Серегин И. В. Физиологические аспекты технического действия кадмия и свинца на высшие растения / И. В. Серегин, В. Б. Иванов // Физиология растений. – 2001. – Т. 48, № 4. – С. 606-630.

Случик І. Й. Акумуляція важких металів у пагонах видів роду *Rorulus* в умовах урбанізованого середовища / І. Й. Случик, В. П. Стефурак // Науковий вісник Чернівецького ун-ту. Біологія. – 2000. – Вип. 77. – С. 51-59.

Надійшла до редколегії 26.02.10