

ВПЛИВ ЗАБРУДНЮВАЧІВ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА РОЗВИТОК ОКСИДАТИВНОГО СТРЕСУ ТА НАГРОМАДЖЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ЛИСТКАХ КВІТНИКОВО-ДЕКОРАТИВНИХ РОСЛИН

О. М. Зубровська*

Криворізький ботанічний сад НАН України,
м. Кривий Ріг, Україна

Анотація. У роботі представлені результати аналізу акумуляції важких металів і розвитку процесів оксидативного стресу в листках двох видів роду *Hemerocallis*, які зростали поблизу гірничо-збагачувального підприємства. В умовах промислового забруднення встановлено видоспецифічний характер накопичення важких металів асиміляційними органами квітничково-декоративних рослин. Доведено, що *H. middendorffii* протягом усієї вегетації максимально концентрував у своїх листках більшість токсичних елементів. Водночас високий уміст полутантів практично не впливав на загальний вигляд рослин цього виду. Різنا інтенсивність акумуляції іонів важких металів листками лілійників зумовлювала й певний ступінь зростання вільнорадикальних реакцій-відповідей на вплив стресору. Для обох досліджуваних видів встановлено рівномірне статистично достовірне зростання процесів пероксидного окиснення ліпідів від фази початку формування бутону до фази визрівання плодів, на що вказує вміст ТБК-активних сполук у листках рослин. Так, у *H. middendorffii*, не зважаючи на активне поглинання більшості токсичних елементів, розвиток оксидативного стресу знаходився на певному стаціонарному рівні, а кількість ТБК-активних сполук протягом усього періоду досліджень перевищувала контрольні показники лише у 1,2–1,4 раза. На відміну від цього, *H. lilioasphodelus* виявився чутливішим до стресової дії промислових забруднювачів. Навіть незначний рівень цинку, нікелю, плумбуму, купрум та кадмію на тлі високого вмісту феруму в листках виду сприяли збільшенню інтенсивності утворення вільнорадикальних процесів удвічі. У ролі перспективного виду як для озеленення промислових територій підприємств гірничо-збагачувального комплексу, так і у фітореMediaційній техніці на урбанізованих територіях можемо рекомендувати використання *H. middendorffii*, який володіє досить високою стійкістю до негативного впливу промислових забруднювачів із вмістом важких металів.

Ключові слова: важкі метали, *Hemerocallis* L., пероксидне окиснення ліпідів, ТБК-активні сполуки.

Вступ. Деградація ґрунтів і рослинного покриву внаслідок техногенної діяльності людини є однією з найважливіших екологічних проблем сьогодення [15]. Дослідження в цьому напрямку особливо актуальні для промислових регіонів, як-от Криворіжжя, адже для них характерне забруднення довкілля промисловими пиловими викидами із вмістом важких металів, що призводять до нагромадження в оточуючому середовищі хімічних сполук у невластивих природі сполученнях [24]. Не зважаючи на те, що в останні роки завдяки впровадженню на промислових підприємствах Кривого Рогу сучасних очисних споруд чи оновлення вже існуючих, хоч і відбувається скорочення обсягів потрапляння в атмосферне повітря твердих часток, однак загальні обсяги надходження важких металів із промисловими викидами до атмосферного повітря в місті лишаються доволі суттєвими [9]. Найпотужнішими забруднювачами довкілля в межах міста є гірничо-збагачувальні комбінати, які входять до переліку екологічно небезпечних об'єктів Дніпропетровської області [8]. Основна кількість токсичних речовин із цих підприємств потрапляє у вигляді техногенного пилу в атмосферу і в такий спосіб розповсюджується в біосфері [14]. У пилоподібних промислових викидах можуть міститися сполуки плумбуму, кадмію, купруму, цинку, нікелю та феруму, які займають провідне місце серед забруднювачів і найінтенсивніше залучаються до біогеохімічного кругообігу [10, 18].

Наявність у навколишньому середовищі зазначених сполук у надлишкових концентраціях безпосередньо впливає на ріст і розвиток рослин у промислових центрах і призводить до істотних порушень фізіолого-біохімічних процесів у їх клітинах [25, 30, 36]. Як наслідок, у відповідь на вплив важких металів у рослинних організмах виникає активація вільнорадикальних процесів і відбувається зміщення про-/антиоксидантної рівноваги в бік збільшення інтенсивності пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ) [11, 26], що є сигналом до запуску відповідних механізмів багатокomпонентної системи захисту рослин [29]. Більшість науковців розглядають активацію процесів ПОЛ як одну з ключових ланок між стресовим впливом і реалізацією захисних реакцій організму. Продукти ПОЛ, зокрема ТБК-активні сполуки, можуть бути як «індикаторами», так і «первинними медіаторами» стресової дії на рослинні організми різних чинників [1, 2]. Кількість саме ТБК-активних сполук вважається важливим

показником ступеня впливу різних факторів на організм, і його визначення дозволяє певною мірою оцінити функціональний стресовий стан рослин і потенціал видів щодо фізіологічної адаптації [33].

Саме тому рослини, які використовуються для озеленення територій промислових міст, повинні мати високу стійкість до аерогенного забруднення, здатність поглинати забруднюючі речовини з атмосфери та ґрунту, рости на ґрунтах із домішками будівельного сміття і низьким умістом поживних речовин, а також мати високу декоративність [4, 36]. Серед найбільш перспективних видів квітниково-декоративних рослин для використання у складі зелених насаджень різного цільового призначення є види роду *Hemerocallis* L. [5, 6], які мають достатньо швидкі темпи росту, високі декоративні якості і, крім того, стійкі до промислового забруднення та невибагливі до ґрунтів [17, 32].

Оскільки поглинання важких металів видо- й елементоспецифічне, встановлення динаміки акумуляції нікелю, кадмію, плюмбуму, купруму, феруму та цинку, а також характеру вільнорадикальних процесів у листках квітниково-декоративних рослин в умовах поліметалічного стресу є досить актуальними у практичному сенсі як для розробки асортименту стійких видів для озеленення міських територій і санітарно-захисних зон промислових підприємств, так і для використання їх у ролі біоіндикаторів стану довкілля.

Мета роботи — дослідити особливості акумуляції важких металів і розвиток оксидативного стресу в асиміляційних органах деяких видів лілійнику, що зростають поблизу гірничо-збагачувального підприємства.

Матеріали та методи досліджень. Об'єктом дослідження були 5-річні рослини видів роду *Hemerocallis* L. — *H. middendorffii* Trautv. & С. А. Меу. та *H. lilioasphodelus* L. Рослинний матеріал квітниково-декоративних рослин, що зростають в умовах промислового забруднення поблизу РЗФ-1 ВАТ «Північний ГЗК» і на ділянці умовного контролю (Криворізький ботанічний сад НАН України), для проведення аналізів відбирали у фазу початку формування бутону (B_1), фазу початку цвітіння ($Ц_1$) та у фазу визрівання плодів ($П_2$).

Накопичення нікелю, кадмію, плюмбуму, купруму, феруму та цинку в рослинному матеріалі оцінювали з використанням методичних вказівок щодо визначення важких металів у ґрунтах сільськогосподарських угідь і продукції рослинництва [22]. Підготовка проб для аналізу проводилася за допомогою кислотної екстракції азотною кислотою (розведення 1 : 1). Мінералізація проб проводилася методом сухого озолення за ДСТ 26657-85 [12]. Подальше визначення

концентрації важких металів проводилося на атомно-адсорбційному спектрофотометрі С-115 (Україна). Рівень ТБК-активних сполук визначали за методом, який ґрунтується на утворенні забарвленого комплексу за взаємодії малонового діальдегіду з тіобарбітуровою кислотою [23]. Уміст білка в гомогенатах рослинних тканин визначали методом Ch. S. Greenberg [13] за реакцією білка з бромфеноловим синім. Калібрувальну криву будували методом стандартних розведень сироваткового альбуміну білка. Повторність у межах окремого варіанта досліду складала 50 рослин, аналітична повторність — 4-кратна. Статистичну обробку даних проводили за методами параметричної статистики [35] з вираховуванням t -критерію Стьюдента за рівня значущості $p < 0,05$.

Результати та їх обговорення. Дослідження ступеня адаптивних реакцій рослин на дію важких металів не можливе без з'ясування особливостей накопичення останніх рослинними організмами. Аналіз біологічної акумуляції елементів в асиміляційних органах контрольних рослин (табл. 1) свідчить, що протягом усього періоду досліджень у листках найінтенсивніше нагромаджувався ферум. Серед видів лілійнику у фазу початку формування бутону найбільший його вміст був притаманий *H. middendorffii* (86,17 мкг/г сирої речовини), водночас на наступних етапах морфогенезу максимальний рівень феруму зафіксований у листках *H. lilioasphodelus* (168,14 і 175,03 мкг/г сирої речовини у фазі початку цвітіння та визрівання плодів відповідно).

Зауважимо, що для рослин *H. middendorffii* в умовах контролю взагалі характерним було інтенсивне нагромадження в листках більшості досліджуваних металів за виключенням кадмію, максимальна концентрація якого спостерігалася в асиміляційних органах *H. lilioasphodelus*. Найменше в листках лілійників обох видів містилося нікелю (1,0–2,9 мкг/г сирої речовини), показники біологічної акумуляції якого для обох видів роду *Hemerocallis* протягом усього дослідження були ідентичними. Оскільки нікель характеризується високою мобільністю в рослинах [27], імовірно, незначний рівень металу в листках вказує на його більшу залученість у фізіологічних процесах кореневої системи лілійників. Як видно з таблиці 1, узагальнені розрахунки накопичення токсикантів у листках рослин у промислових умовах РЗФ-1 ВАТ «ПівнГЗК» свідчать, що найбільше серед усіх досліджених важких металів як за абсолютними, так і за відносними показниками акумулялювався ферум, різноманітні сполуки якого є пріоритетними забруднювачами гірничо-збагачувальних підприємств.

Таблиця 1. Середні значення вмісту деяких важких металів у листках видів *Нemerocallis L.* (мкг/г сирової речовини)

Table 1. The average values of the content of some heavy metals in the leaves of species *Нemerocallis L.* ($\mu\text{g/g}$ of raw material)

Етап дослідження	Криворізький ботанічний сад							РЗФ-1 ВАТ «ПівніЗК»				
	Zn	Ni	Fe	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Fe	Pb	Cd	Cu
<i>Нemerocallis middendorffii</i>												
Б ₁	8,7	1,2	86,2	4,1	2,4	2,2	17,7*	1,4*	1133,1*	6,9*	3,4*	3,5*
Ц ₁	9,9	1,0	110,1	3,6	2,6	2,6	31,0*	1,6*	1181,0*	7,4*	3,8*	4,0*
Пл ₂	10,8	2,9	115,9	6,3	3,0	4,0	38,7*	4,2*	1306,3*	12,8*	5,1*	6,8*
<i>Нemerocallis lilioasphodelus</i>												
Б ₁	6,9	1,2	57,8	3,7	2,4	2,1	15,4*	1,4*	1930,1*	5,5*	4,3*	2,3*
Ц ₁	9,1	1,3	168,2	3,9	3,2	2,3	17,1*	1,6*	1972,8*	6,1*	4,7*	2,8*
Пл ₂	11,8	2,7	175,0	4,3	4,5	3,4	23,6*	4,3*	2431,5*	7,3*	6,8*	4,3*

Примітки: Б₁ — фаза початку формування бутону; Ц₁ — фаза початку цвітіння; Пл₂ — фаза визрівання плодів; * — розбіжності достовірні відносно контролю за критерієм Стьюдента за $p < 0,05$

Так, у фази початку формування бутону, початку цвітіння та визрівання плодів максимальна його кількість серед видів лілійнику була характерною для *H. lilioasphodelus* і в 33, 12 та 14 разів відповідно перевищувала показники контрольних рослин, що добре узгоджується з даними інших дослідників [5].

Відомо, що швидкість поглинання цинку, який належить до класу високонебезпечних сполук [18], значно варіює залежно від виду та фази розвитку рослин і, ймовірно, максимально накопичується в асиміляційних органах рослин у середині та наприкінці вегетації. Рівень акумуляції цинку листками квітничково-декоративних видів за промислового забруднення виявився в понад п'ять разів меншим, порівняно з ферумом (табл. 1). Так, найінтенсивніше метал нагромаджувався у *H. middendorffii* як і в контрольних умовах, а його концентрація протягом усього морфогенезу перевищувала показники інтактних рослин у 2–3,6 рази.

Плюмбум вважається металом із низькою біологічною доступністю і переміщення його з коренів до надземної частини рослин досить обмежене [16], натомість цей елемент достатньо легко поглинається листками рослин у процесі надходження з повітря [31]. Як видно з таблиці 1, найсуттєвіші рівні накопичення плюмбуму (вдвічі вищі за контрольні) у зоні промислового забруднення протягом вегетації лілійників були характерними для *H. middendorffii*.

Купрум і кадмій активно акумулюються кореневою системою рослин і поступово надходять до надземних органів, проте під час поглинання елементів не менш важливими є і фоліарні шляхи їх надходження [18, 34]. В умовах промайданчику РЗФ-1 ВАТ «ПівнГЗК» нагромадження зазначених металів у листках обох видів лілійнику у 1,5–1,7 раза було інтенсивнішим, ніж в умовному контролі, причому максимальна їх кількість фіксувалася наприкінці морфогенезу рослин. Цей факт, на нашу думку, зумовлений взаємодією між токсичними елементами за поліелементного забруднення, адже відомо, що високі концентрації феруму та цинку інгібують поглинання кадмію та купруму рослинами [3, 10]. Хоча стосовно взаємодії кадмій — цинк існують дані як про антагонізм, так і про синергізм у процесах акумуляції і транслокації [19].

Зазначимо, що в умовах забруднення нікелю в листках видів роду *Hemerocallis* містилося найменше серед досліджуваних токсикантів (табл. 1), а його рівні ледь перевищували контрольні показники на всіх етапах дослідження. Вочевидь, видоспецифічні бар'єрні механізми кореневої системи як *H. middendorffii*, так і *H. lilioasphodelus* ефективно

протидіють надмірному надходженню нікелю до тканин листка, не зважаючи на високий ступінь його рухливості в рослинах [21]. Хоча за певних умов характер токсичної дії нікелю може більшою мірою визначатися співвідношенням Ni/Fe, ніж його абсолютними концентраціями в тканинах рослин [20].

Відомо, що токсична дія більшості важких металів викликає розвиток оксидативного стресу та супроводжується різноманітними перебудовами метаболізму рослин, зумовленими як безпосереднім окисненням ліпідів мембран, так і накопиченням продуктів пероксидації (особливо вторинних) і їх взаємодією з клітинними макромолекулами [29]. Кількість саме сполук тіобарбітурової кислоти (ТБК-активних сполук) вважається важливим показником ступеня впливу різних факторів на організм, вивчення якого дозволяє певною мірою оцінити функціональний стан організму та його неспецифічну адаптаційну здатність [2].

Аналіз умісту ТБК-активних сполук в органах асиміляції лілійників у контрольних умовах свідчить, що на всіх етапах морфогенезу найбільш інтенсивно процеси пероксидації відбувалися у *H. middendorffii* (рис. 1А, 1Б), що певною мірою пояснюється видоспецифічністю розвитку вільнорадикальних реакцій, а також функціонуванням антиоксидантних систем захисту у згаданого виду рослин [32].

Необхідно зауважити, що ступінь розвитку пероксидного окиснення ліпідів у клітинах рослин за несприятливих чинників значною мірою визначається силою і тривалістю впливу, чутливістю рослин і стадією їх розвитку. Так, у чутливих до певного стресового чинника рослин спостерігається різка активація пероксидних процесів, а у стійких (толерантних) рослин — навпаки певне їх гальмування [10]. Розвиток стресового відгуку на дію важких металів у листках квітничково-декоративних рослин у зоні дії РЗФ-1 відбувався майже вдвічі інтенсивніше. Зауважимо, що, на відміну від контрольних рослин, у зазначених умовах серед видів роду *Hemerocallis* L. максимальний рівень ТБК-активних сполук встановлено у *H. lilioasphodelus*, який зростає в межах 1,4–2,0 раза від фази початку формування бутону до фази визрівання плодів (рис. 1Б). Схожу тенденцію перебігу вільнорадикальних реакцій за дії важких металів у цього виду було зафіксовано і в роботі Т. Ф. Чипиляк [7]. Частковим поясненням такого стресового відгуку саме у згаданого виду лілійнику може бути накопичення в його листках високих концентрацій кадмію та феруму, які належать до елементів, що сприяють самоприскоренню

розвитку процесів ПОЛ [28]. На відміну від цього, в асиміляційних органах *H. middendorffii* інтенсивність процесів пероксидації виявилась незначною і на всіх фазах розвитку рослин не перевищувала показник інтактних рослин більш ніж у 1,4 рази (рис. 1А). Імовірно, цей факт обумовлений видоспецифічними особливостями функціонування антиоксидантних ферментних систем.

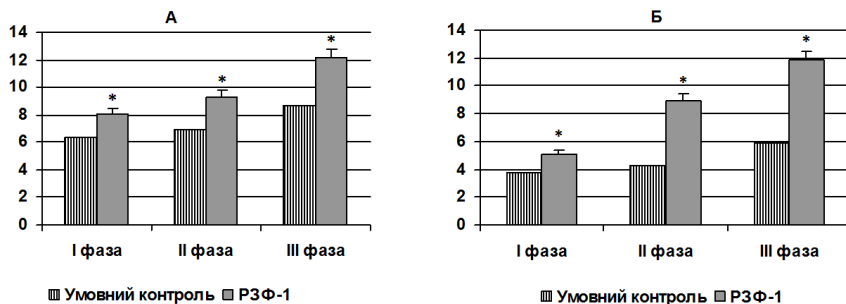


Рис. 1. Уміст ТБК-активних продуктів у листках видів *Hemerocallis* L. (10^{-6} М МДА/мг білка): А — *H. middendorffii*, Б — *H. lilioasphodelus*; I фаза — фаза початку формування бутону; II фаза — фаза початку цвітіння; III фаза — фаза визрівання плодів; * — розбіжності достовірні відносно контролю за критерієм Стьюдента за $p < 0,05$

Figure 1. The content of TBA-active products in the leaves of species *Hemerocallis* L. (10^{-6} M MDA/mg protein): A — *H. middendorffii*, B — *H. lilioasphodelus*; Phase I — the phase of bud formation; Phase II — the phase of beginning of flowering; Phase III — the phase of fruit ripening; * — discrepancies are significant with respect to control of the Student's criterion at $p < 0,05$

Висновки. Підсумовуючи, зазначимо, що, за узагальненою оцінкою акумуляції важких металів органами асиміляції квітничково-декоративних рослин у зоні дії гірничо-збагачувального підприємства, найвищий рівень більшості токсичних елементів був характерним для *H. middendorffii*. Високий рівень накопичення полотантів практично не впливав на загальний вигляд рослин виду й інтенсивність процесів

пероксидації у його листках, про що свідчить незначне зростання концентрації ТБК-активних сполук (до 1,4 раза) протягом усього періоду досліджень. На відміну від цього, *H. lilioasphodelus* виявився чутливішим до стресової дії промислових забруднювачів. Навіть незначний рівень цинку, нікелю, плюмбуму, купруму та кадмію в його листках, зумовлений антагоністичною дією феруму під час поглинання важких металів із доквілля, сприяв збільшенню інтенсивності вільнорадикальних процесів удвічі.

References

1. Anh Tran, T., & Popova, L.P. (2013). Functions and toxicity of cadmium in plants: recent advances and future prospects. *Turkish Journal of Botany*, 37, 1–13.
2. Batsmanova, L., Taran, N., Okanenko, A., & Kosyan, A. (2014). Oxidation stress is adaptative reaction inductor of winter wheat varieties. *Agriculture (Polnohospodarstvo)*, 60 (2), 70–76.
3. Bunluesin, S., Pokethitiyook, P., & Lanza, G. R. et al. (2007). Influences of cadmium and zinc interaction and humic acid on metal accumulation in *Ceratophyllum demersum*. *Water, Air and Soil Pollut.*, 180 (1–4), 225–235.
4. Buschhaus, Ch., & Jetter, R. (2011). Composition differences between epicuticular and intracuticular wax substructures: How do plants seal their epidermal surfaces? *Journal of Experimental Botany*, 62 (3), 841–853.
5. Chypylyak, T. (2014). Autekologichni osoblyvosti vydiv rodu *Hemerocallis* L. v umovakh m. Kryvyy Rih [Autecological features of species of the genus *Hemerocallis* L. in the conditions of the city of Kryvyi Rih]. *Visnyk of Lviv University. Ser.: Biological*, 65, 202–209. (in Ukrainian).
6. Chypylyak, T.F., & Hryshko, V.M. (2014). Prystosuvannya asymilyatsynoho aparatu sortiv lilynyku (*Hemerocallis* L.) do zabrudnennya vazhkymy metalamy [Adaptation of the assimilation apparatus of daylily varieties (*Hemerocallis* L.) to pollution by heavy metals]. *Biological Bulletin of the MDPU named after B. Khmelnytskyi*, 2, 83–97. (in Ukrainian).
7. Chypylyak, T.F., & Hryshko, V.M. (2014). Osoblyvosti fiziologichnoyi adaptatsiyi *Hemerocallis lilioasphodelus* i *H. middendorffii*

- (Hemerocallidaceae) do tekhnohennoho zabrudnennya [Peculiarities of physiological adaptation of *Hemerocallis lilioasphodelus* and *H. middendorffii* (Hemerocallidaceae) to technogenic pollution]. *Ukrainian Botanical Journal*, 71 (5), 614–619. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj71.05.614> (in Ukrainian).
8. Ekolohichnyy pasport Dnipropetrovs'koyi oblasti za 2021 rik [Environmental passport of the Dnipropetrovsk region for 2021] Dnipropetrovsk regional state administration. Electronic resource, online at <http://adm.dp.gov.ua> (in Ukrainian).
 9. Ekolohichnyy stan Kryvbasu: problemy ta shlyakhy yikh vyrishennya (24–25 zhovtnya 2019 roku): materialy vyzivnoho zasidannya Komitetu z pytan' ekolohichnoyi polityky ta pryrodokorystuvannya. (2019). [Ecological state of Kryvbas: problems and ways to solve them (October 24–25, 2019): materials of the field meeting of the Committee on Environmental Policy and Nature Management]. *Kryvyi Rih*, 69. (in Ukrainian).
 10. Emamverdian, A., Ding, Y., Mokhberdoran, F., & Xie, Y. (2015). Heavy metal stress and some mechanisms of plant defense response. *Hindawi Publishing Corporation the Scientific World Journal*, Article ID 756120, 18. <https://doi.org/10.1155/2015/756120>
 11. Foyer, C. H., & Shigeoka, S. (2011). Understanding oxidative stress and antioxidant functions to enhance photosynthesis. *Plant Physiol*, 155, 93–100.
 12. GOST 26657-85. Korma, kombikorma, kombikormovoye syr'ye. Metody opredeleniya sodержaniya fosfora (1987). [State Standard 26657-85. Feed, compound feed, compound feed raw materials. Methods for determining the content of phosphorus]. Moscow, 5. (in Russian).
 13. Greenberg, Ch. S., & Gaddock, Rh. R. (1982). Rapid single step membrane proteine assay. *Clin. Chem.*, 28 (7), 1726–1728.
 14. Gryshko, V. M., Syshchykov, D. V., Piskova, O. M., Danilchuk, O. V., & Mashtaler, N. V. (2012). Heavy metals: entering to soils, translocation in plant and ecological danger. Donbas, Donetsk, 304. (in Ukrainian).
 15. Hassanpour, E. S., & Rezayatmand, Z. (2015). Evaluation of some physiological and biochemical parameters of variety of sunflower Sanbero (*Helianthus annuus* L.) under nickel toxicity. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 5 (4), 88–99.

16. Hlukhov, O.Z., Safonov, A.I., & Khyzhnyak, N.A. (2006). Fitoindykatsiya metalopersynhu v antropohenno transformovanomu seredovyshchi [Phytoindication of metal persing in an anthropogenically transformed environment], Nord-Press, Donetsk, 360. (in Ukrainian).
17. Jan, A. U., Ahmad, A., Hadi, F., & Ali, N. (2017). Phytoextraction and Translocation of Cadmium in Saline Soil by *Hemerocallis fulva* and *Dodonaea viscosa* plants. *Res. Rev. Biosci.*, 12 (2), 124.
18. Kabata-Pendias, A. (2011). Trace elements in soil and plants. 4th ed. : CRS Press, Boca Raton, 520.
19. Kandziora-Ciupa, M., Ciepał, R., Nadgorska-Socha, A., & Barczyk, G. (2013). A comparative study of heavy metal accumulation and antioxidant responses in *Vaccinium myrtillus* L. leaves in polluted and non-polluted areas. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 20, 4920–4932.
20. Khalid, B. Y., & Tinsley, J. (1980). Some effects of nickel toxicity on ryegrass. *Plant and Soil*, 55, 139–143.
21. Khan, M. R., & Khan, M. M. (2010). Effect of varying concentration of Nickel and Cobalt on the plant growth and yield of Chickpea. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4 (6), 1036–1046.
22. Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvakh sel'khozugodiy i produktsii rasteniyevodstva (1989). [Guidelines for the determination of heavy metals in agricultural soils and crop production]. Moscow, 62. (in Russian).
23. Musiyenko, M. M., Parshykova, T. V., & Slavnyy, P. S. (2001). Spektrofotometrychni metody v praktytsi fiziolohiyi, biokhimiyi ta ekolohiyi roslyn [Spectrophotometric methods in the practice of physiology, biochemistry and ecology of plants]. Phytosocial Center, Kyiv, 200. (in Ukrainian).
24. Natsional'na dopovid' pro stan navkolynshn'oho pryrodnoho seredovyshcha v Ukrayini u 2010 rotsi. (2011). [National report on the state of the natural environment in Ukraine in 2010]. Center for Environmental Education and Information, Kyiv, 254. (in Ukrainian).
25. Okeke, C. U., Iroka, Ch. F., & Izundu, A. I. et al. (2015). Comparative systematic leaf and petiole anatomical studies of the genus *Stachytarpheta* found in Awka Nigeria. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 3 (4), 82–84.
26. Piskova, O., & Gryshko, V. (2010). Intensity of free radical processes in the leaves of arboreal plants under act of industrial

- dust borne extracts. *Acta Agraria Debreceniensis*, 38, 83–87. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/38/2764>
27. Poonkothai, M., & Vijayavathi, B.S. (2012). Nickel as an essential element and a toxicant. *International Journal of Environmental Sciences*, 1 (4), 285–288.
28. Sebastiani, L., Francini, A., & Romeo, S. et al. (2014). Heavy metals stress on Poplar: Molecular and anatomical modifications. *Approaches to plant stress and their management publisher*. Eds. R. K. Gaur, P. Sharma. Springer India, 267–279. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1620-9_15
29. Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany (Hindawi Publishing Corporation)*, 1, 1–26.
30. Shutzendubel, A., & Polle, A. (2002). Plant responses to abiotic stress: heavy metal – induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *J. Experim. Bot.* 53 (372), 1351–1365.
31. Skopets'ka, O. V., Kosyk, O. I., & Musiyenko, M. M. (2004). Kompleksnyy ekoloho-fiziolohichnyy analiz mihratsiyi ta nahromadzhennya svyntsyu v ahroekosystemakh [Complex ecological and physiological analysis of lead migration and accumulation in agroecosystems]. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*, 36 (1), 27–35. (in Ukrainian).
32. Song, X., Zhang, C., Chen, W., Zhu, Y., & Wang, Y. (2020). Growth responses and physiological and biochemical changes in five ornamental plants grown in urban lead-contaminated soils. *Plant-Environment Interactions*, 1 (1), 29–47. <https://doi.org/10.1002/pei3.10013>
33. Sytar, O., Kumar, A., & Latowski, D. et al. (2013). Heavy metal-induced oxidative damage, defense reactions, and detoxification mechanisms in plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35 (4), 985–999.
34. Verbruggen, N., Hermans, C., & Schatz, H. (2009). Molecular mechanisms of metal hyperaccumulation in plants. *New Phytologist*, 181, 759–776.
35. Yehorshyn, O. O., & Lisovyy, M. V. (2005). Matematychny planuvannya pol'ovykh doslidiv ta statystychna obrobka eksperymental'nykh danykh [Mathematical planning of field experiments and statistical processing of experimental data]. Kharkiv, 193. (in Ukrainian).

36. Zubrovs'ka, O. M. (2018). Lipidy ta vtorynni metabolity kutykuly u adaptatsiynykh reaktsiyakh derevnykh roslyn za diyi vazhkykh metaliv [Lipids and secondary metabolites of the cuticle in adaptation reactions of woody plants under the influence of heavy metals] : *avtoref. dys. ... kand. biol. nauk* : 03.00.12. Kyiv, 22. (In Ukrainian).

THE INFLUENCE OF MINING PROCESSING ENTERPRISE POLLUTANTS TO THE DEVELOPMENT OF OXIDATIVE STRESS AND THE ACCUMULATION OF HEAVY METALS INTO FLOWERING AND DECORATIVE PLANTS LEAVES

O. M. Zubrovska

Kryvyi Rih Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract. The paper presents the results of heavy metals accumulation analysis and the development of oxidative stress processes in the two species of the genus *Hemerocallis* leaves, which grew near a mining processing enterprise. In the industrial pollution conditions, the species-specific nature of the heavy metals accumulation by the assimilation organs of ornamental plants has been established. It has been proven that *H. middendorffii* concentrated most of the toxic elements in its leaves during the growing season. At the same time, the high concentration of pollutants practically did not affect the general appearance of this species plants. The different intensity of heavy metal ions accumulation by the leaves of daylilies caused a certain degree of growth of free radical reactions-responses to stressors. For both studied species, a uniform and statistically significant increase in lipid peroxidation processes was established from the bud formation phase to the fruit ripening phase, as indicated by the content of TBC-active compounds in plant leaves.

Thus, in *H. middendorffii*, despite the active absorption of most toxic elements, the development of oxidative stress was at a certain stationary level, and the amount of TBC-active compounds during the entire period of research exceeded the control indicators by only 1.2–1.4 times. In contrast, *H. lilioasphodelus* was more sensitive to the stressful effect of industrial pollutants.

Even an insignificant level of zinc, nickel, lead, copper and cadmium against the background of a high iron content in the leaves of the species helped to increase the intensity of formation of free radical processes twice. We can recommend using of *H. middendorffii*, which has a high resistance to the negative effects of industrial pollutants containing heavy metals, as a promising species both for greening the industrial territories of the mining processing enterprises and in phytoremediation techniques in urban territories.

Key words: heavy metals, *Hemerocallis* L., lipid peroxide oxidation, TBC-active compounds.

Citation as:

APA Zubrovska, O.M. (2022). Vplyv zabrudniuvachiv hirnycho-zbahachuvalnoho pidpryemstva na rozvytok oksydatyvnoho stresu ta nahromadzhennia vazhkykh metaliv u lystkakh kvitnykovo-dekoratyvnykh roslyn [The influence of pollutants of a mining and concentration factory on the development of oxidative stress and the accumulation of heavy metals in the leaves of ornamental plants]. *Ekologichnyi visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 7, 60–73. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v7i0>.

ДСТУ 8302:2015 Зубровська О. М. Вплив забруднювачів гірничо-збагачувального підприємства на розвиток оксидативного стресу та нагромадження важких металів у листках квітничково-декоративних рослин. *Екологічний Вісник Криворіжжя*. 2022. Вип. 7. С. 60–73.