

УДК 546.95:615.244:615.322.015/.016:665.333.7

Особливості накопичення неорганічних елементів у насінні лікарських рослин – гірчиці білої (*Sinapis alba* L.) та гірчиці чорної (*Brassica nigra* L.)

О. І. Рудник-Іващенко¹, Л. М. Михальська², В. В. Швартау²

¹Інститут садівництва НААН України, вул. Садова, 23, м. Київ, 03027, Україна, e-mail: rudnik2015@ukr.net

²Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, вул. Васильківська, 31/17, м. Київ, 03022, Україна

Мета. Дослідити особливості накопичення неорганічних елементів, у тому числі й важких металів, у насінні гірчиці білої та чорної, яку вирощують для отримання лікарських препаратів. **Методи.** Польові досліді, мікрохвильове озолення, ICP-MS та статистичний аналіз. **Результати.** Визначено вміст неорганічних елементів, у тому числі й важких металів, у насінні гірчиці білої та чорної, вирощеної в умовах Київської області. Виявлено, що у процесі вегетації рослини гірчиці білої здатні накопичувати в насінні такі елементи, як алюміній, барій, стронцій, цинк у концентраціях, що перевищують їхній вміст у насінні гірчиці чорної, а сполуки кальцію, цезію, заліза, магнію, марганцю, калію більшою мірою накопичувалися у насінні гірчиці чорної. **Висновки.** Оскільки в нормативно-правових документах для важливих хімічних елементів не встановлено гранично допустимих меж їхнього вмісту в лікарських рослинах, то актуальною є необхідність започаткування комплексних досліджень із залученням фахівців відповідних профілів для встановлення такої градації. Рослини гірчиці білої та чорної в умовах Київської області накопичували високі рівні таких металів, як Ва, Сu, Fe, Mn, Mo, Sr, Zn, які перевищують відомі показники гранично допустимих концентрацій, що свідчить про часткове забруднення ґрунтів регіону. Таким чином, рослини названих культур можуть бути фіторемедіаторами ґрунтів. Враховуючи те, що у фармацевтичній галузі використовують рафіновану олію з насіння гірчиці, виявлені зміни накопичення металів у насінні не будуть впливати на якість кінцевої лікарської продукції. Результати досліджень свідчать про перспективність вирощування гірчиці білої та чорної в Київській області з метою отримання сировини для переробки на ліки.

Ключові слова: гірчиця, насіння, важкі метали, гранично допустима концентрація (ГДК), ICP-MS детектування, фіторемедіація.

Вступ

У світовій лікарській практиці на сьогоднішній день є велика кількість високоефективних синтетичних лікарських препаратів, однак лікарські рослини продовжують займати чільне місце в арсеналі лікувальних засобів [1, 2].

Гірчицю використовують у народній та офіційній медицині як ефективну цілющу рослину вже не одне тисячоліття. Історія культури гірчиці є дуже давньою, і хоч види гірчиці вживали ще в Давній Греції та

Римі, батьківщиною їх вважають Азію [3, 4]. Гірчиця є однорічною трав'янистою холодостійкою рослиною, належить до ботаничної родини хрестоцвітих (Cruciferae). Рослина має пряме стебло з великою кількістю жовтих квіток, які розташовані на квітконіжках завдовжки 5–8 мм. Цвітіння відбувається з червня по липень. Рослина формує плоди – стручки, що мають форму човника, в яких розміщені світло-жовті насінини кулястої форми з гладенькою поверхнею. Достигання плодів відбувається у серпні [4, 5].

Лікарською сировиною у гірчиці є її насіння, з якого отримують ефірну гірчичну олію. Знежирену макуху насіння гірчиці використовують як гірчичний порошок [1, 4, 5]. Насіння цієї лікарської рослини багате на жирні кислоти (олеїнову, ерукову, стеаринову та ліноленову), стероїди (брасіка-

Olha Rudnyk-Ivashchenko
<http://orcid.org/0000-0003-2724-9482>

Ludmila Mykhalskaya
<http://orcid.org/0000-0002-0677-5574>

Victor Schwartau
<http://orcid.org/0000-0001-7402-5559>

терин, кампестерин, ситостерин, холестерин, метиленхолестерин).

Накопичення лікарськими рослинами неорганічних елементів є динамічним процесом, що змінюється протягом онтогенезу й залежить від різних чинників довкілля, в тому числі й антропогенних. Внаслідок господарської діяльності в агрофітоценози можуть надходити небезпечні забруднювачі – важкі метали, що мають високу токсичність, здатні включатися в біологічний кругообіг і акумулюватися в організмі людини. Тому актуальною є необхідність вивчення особливостей міграції важких металів у системі «ґрунт–лікарська рослина» для запобігання акумуляції їх в організмі людини.

Мета досліджень – проаналізувати вміст неорганічних елементів, у тому числі й важких металів, у насінні гірчиці білої (*Sinapis alba* L.) та гірчиці чорної (*Brassica nigra* L.) з метою розроблення відповідних санітарно-гігієнічних і господарсько-організаційних заходів, щоб забезпечити необхідний рівень екологічної безпеки та раціонального використання отриманого врожаю. **Об'єктом досліджень** були лікарські рослини гірчиці білої та гірчиці чорної, які вирощують для отримання насіння.

Матеріали та методика досліджень

Польові досліді проводили в умовах стаціонарного досліді лабораторії квітково-декоративних, лікарських та ефіроолійних культур Інституту садівництва НААН України (Київська область). Аналіз ґрунту проводили в лабораторії агрохімії інституту. Вміст гумусу в орному шарі (0–40 см) становить 2,3%, легкогідролізованого азоту (за Тюрнімом і Коновою) – від 78,4 до 98,0 мг/кг, рухомих форм фосфору (за Кірсановим) – 93,2–180,9 мг/кг, обмінного калію (за Кірсановим) – 106,1–202,8 мг/кг. Реакція ґрунтового розчину – кисла, рН 5,3–5,8.

Схема досліді передбачала чергування культур у короткоротаційній польовій сівозміні: ехінацея пурпурова (*Echinacea purpurea*), ромашка лікарська (*Matricaria recutita* L.), розторопша плямиста (*Silybum tianum* (L.) Gaertn.) – для гірчиці білої та щириця (*Amaranthus* L.), алтея лікарська (*Althaea officinalis*), тархун (*Artemisia dracuncululus* L.) – для гірчиці чорної. Вирощування зазначених культур не передбачало внесення добрив та обробку пестицидами, щоб мінімізувати надходження ксенобіотиків у фітоценоз лікарських рослин.

Досліді закладали на 4-рядкових ділянках завдовжки 2 м. Сівбу проводили суцільним

рядковим способом. Норма висіву насіння – 10 кг/га, глибина загортання насіння – 4–5 см. Бур'яни у посіві контролювали вручну.

Вміст неорганічних елементів у насінні гірчиці білої та чорної врожаю 2014–2016 рр. визначали в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України після зберігання зразків в умовах, визначених Настановою СТ-Н МОЗУ 42-4.5:2012 [6], до липня 2016 р.

Зразки рослин висушували при 105 °С до постійної сухої маси й озольали в азотній кислоті ICP-grade за допомогою мікрохвильової пробопідготовки Milestone Start D. Отриманий екстракт доводили до об'єму 50 мл водою 1-го класу (18 Mom), підготовленою на системі очищення води Scholar-UV NexUp 1000 (Human Corporation, Корея).

Елементний склад у дослідних зразках визначали методом ICP-MS на емісійному мас-спектрометрі Agilent 7700х. Оскільки в аргоновій плазмі елементи з молекулярними масами від 23 (натрій) до 75 (арсен) можуть утворювати хибні піки, наприклад, рівні за масою CaO^{56} та Fe^{56} , чи ArN або ArO з іншими ізотопами заліза тощо, визначення здійснювали у режимі продування гелієм, що ефективно видаляє матричні та елементні інтерференції елементів.

Як калібрувальний стандарт використували ICP-MS Complete Standard IV-ICPMS-71A, як внутрішній стандарт – 1 ppb розчин Sc (Inorganic Ventures, USA).

Результати обробляли за допомогою програмного забезпечення ICP-MS MassHunter Software та MS Excel 2014.

Результати досліджень

Важкі метали (ВМ) є природними компонентами земної кори і, як правило, містяться в усіх біоценозах. Однак, внаслідок антропогенної діяльності у деяких екосистемах концентрація ВМ зросла у кілька разів. Забруднення довкілля важкими металами продовжує зростати й несе токсикологічні ризики для здоров'я людини [7–9]. Разом з тим, ряд важких металів є компонентами живих організмів як складові редокс-систем, і вони проявляють токсичність лише за високих концентрацій.

Дослідженнями встановлено видову специфіку накопичення неорганічних елементів рослинами. Вміст таких металів, як алюміній, барій, кадмій, стронцій, цинк у насінні гірчиці білої значно переважав їхній вміст у насінні гірчиці чорної (див. таблицю). У таблиці наведено дані аналізів зразків 2014 р., проте близькі величини отримували й за результатами аналізів зраз-

ків 2015 та 2016 рр. (дані не наведено). В усі роки досліджень накопичення алюмінію, барію та стронцію рослинами гірчиці білої було вищим за рівень накопичення у насінні гірчиці чорної. Насіння гірчиці білої та гірчиці чорної має низькі рівні накопичення алюмінію. Визначені рівні накопичення барію й стронцію можуть бути пов'язані з особливостями вирощування рослин у регіоні, що зазнає впливів від аварії на Чорнобильській АЕС.

Однак, накопичення кальцію, цезію, заліза, магнію, мангану, калію було більшим у насінні гірчиці чорної порівняно з насінням гірчиці білої. Різниця накопичення кальцію рослинами гірчиці чорної порівняно з гірчицею білою становила 54,65 мг/кг, цезію – 0,007, заліза – 6,55, магнію – 98,5, мангану – 2,41, калію – 404,4 мг/кг та відтворювала-ся в аналізах насіння 2015 і 2016 рр.

Під час вибору агротехнічних елементів вирощування сільськогосподарських культур, насамперед попередників, необхідно враховувати, що протягом своєї вегетації рослини родини Cruciferae є вираженими азотофілами, які поглинають велику кіль-

кість азоту з ґрунту з відповідним накопиченням пулу вуглецю й зольних елементів. При цьому рослини гірчиці чорної засвоюють з ґрунту більшу кількість таких необхідних для рослин елементів, як кальцій, залізо, магній, калій порівняно з рослинами гірчиці білої. Рослини гірчиці білої засвоюють більше сполук таких важких металів, як залізо і марганець порівняно з рослинами гірчиці чорної, що необхідно враховувати під час використання їх насіння у виробництві ліків.

Результати досліджень свідчать про істотну різницю величини накопичення важких металів рослинами гірчиці. Отже, рослини гірчиці здатні не тільки поглинати з ґрунту важливі компоненти для свого росту й розвитку, вони можуть бути фітореemedіаторами ґрунтів щодо ряду металів.

Оскільки для виробництва лікарських препаратів використовують переважно олеїнову, ерукову, стеаринову та ліноленову жирні кислоти, які отримують з олії насіння гірчиці, то в умовах Лісостепу цю культуру, ймовірно, можна вирощувати як лікарську рослину, оскільки у процесі переробки її на рослинну олію вміст важких

Таблиця

Накопичення неорганічних елементів, у тому числі й важких металів, у насінні гірчиці білої та чорної за результатами ICP-MS детектування (Київська область, урожай 2014 р.)

| Неорганічні елементи | Вміст, мг/кг | | ГДК* ВМ у рослинній продукції, (генеративній частині), мг/кг |
|----------------------|--------------|---------------|--|
| | гірчиця біла | гірчиця чорна | |
| Al | 2,87±0,3 | 1,88±0,1 | 20 |
| Ba | 2,54±0,3 | 2,22±0,2 | 0,7 |
| Be | <0,00** | <0,00 | відсутній |
| Bi | <0,00 | <0,00 | відсутній |
| Cd | 0,038±0,001 | 0,011±0,004 | 0,03 (0,3 – WHO, 1998) |
| Ca | 699±1 | 753±1 | відсутній |
| Cs | 0,007±0,001 | 0,014±0,002 | відсутній |
| Cr | 0,060±0,044 | 0,080±0,068 | 0,2 |
| Co | <0,00 | <0,00 | 0,1 |
| Cu | 2,06±0,03 | 2,22±0,02 | 1,0 |
| Fe | 21,22±0,03 | 27,77±0,04 | відсутній |
| Pb | <0,00 | <0,00 | 0,3(10,0 – WHO, 1998) |
| Li | <0,00 | <0,00 | відсутній |
| Mg | 1254±6 | 1353±3 | відсутній |
| Mn | 6,97±0,03 | 9,38±0,04 | 2,1 |
| Mo | 0,20±0,05 | 0,20±0,03 | 0,12 |
| Ni | <0,00 | <0,00 | 0,5 |
| K | 3710±5 | 4115±1 | відсутній |
| Rb | 3,38±0,02 | 3,80±0,08 | відсутній |
| Ag | 0,006±0,007 | 0,006±0,009 | відсутній |
| Na | 27,11±0,9 | 33,01±2,7 | відсутній |
| Sr | 6,51±0,01 | 4,40±0,02 | 1,0 |
| Tl | 0,010±0,005 | 0,010±0,009 | відсутній |
| V | 0,06±0,02 | 0,06±0,02 | відсутній |
| Zn | 16,29±0,02 | 15,92±0,03 | 10,0 |

*Запропоновані рівні гранично допустимих концентрацій неорганічних елементів [1, 2, 7, 8, 9].

**Вміст елементів є нижчим за рівень чутливості ICP-MS Agilent 7700x.

металів у кінцевому продукті буде практично відсутній.

Як свідчать результати досліджень, ґрунти Київської області цілком придатні для вирощування лікарських рослин, оскільки концентрація важких металів, яку вони накопичують в період вегетації, загалом є в межах гранично допустимих рівнів, а наявність елементів, які перевищують зазначені концентрації, можна регулювати традиційними агроекологічними методами та у процесі переробки сировини.

Висновки

Оскільки в нормативно-правових документах для багатьох важливих елементів, які відносять до важких металів, відсутні гранично допустимі концентрації їх вмісту в біосировині лікарських рослин, то актуальним є започаткування проведення комплексних досліджень із залученням фахівців відповідних профілів для встановлення такої градації.

Рослини гірчиці білої та гірчиці чорної в умовах Київської області накопичують такі метали, як Ва, Сu, Fe, Mn, Мо, Sr, Zn, вміст яких перевищує відомі гранично допустимі концентрації, що свідчить про часткове забруднення ґрунтів регіону.

Результати досліджень свідчать про перспективність вирощування лікарських рослин гірчиці білої й гірчиці чорної в Київській області з подальшою переробкою лікарської сировини та на інші цілі.

Використана література

1. Evans W. C. Trease and Evans' Pharmacognosy / W. C. Evans. – 14th ed. – London : W. B. Saunders Co. Ltd, 1996. – P. 36–40.
2. The United States Pharmacopeia, XXXX; The National Formulary, XXXV [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.usp.org/usp-nf>.
3. Вавилов Н. И. Центры происхождения культурных растений / Н. И. Вавилов. – Л. : Тип. им. Гутенберга, 1926. – 248 с.

УДК 546.95: 615.244: 615.322.015 / .016: 665.333.7

Рудник-Иващенко О. И.¹, Михальская Л. Н.², Швартау В. В.² Особенности накопления неорганических элементов в семенах горчицы белой (*Sinapis alba* L.) и горчицы черной (*Brassica nigra* L.) // Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. – 2016. – № 4. – С. 71–75.

¹Институт садоводства НААН Украины, ул. Садовая, 23, г. Киев, 03027, Украина, e-mail: rudnik2015@ukr.net

²Институт физиологии растений и генетики НАН Украины, ул. Васильковская, 31/17, г. Киев, 03022, Украина

Цель. Изучить особенности накопления неорганических элементов, в том числе и тяжелых металлов, в семенах горчицы белой и черной, которые выращивают для получения лекарственных препаратов. **Методы.** Полевые опыты, микроволновое озоление, ICP-MS и статистический анализ. **Результаты.** Определено содержание неорганических элементов, в том числе и тяжелых металлов, в семенах горчицы белой и черной, выращенной в условиях Киевской области. Выявлено, что в процессе вегетации растения горчицы белой способны накапливать в семенах

4. Гірчиця / за ред. П. І. Гадза. – Івано-Франківськ : Нова ера, 2014. – 96 с.
5. Архипенко Ф. М. Гірчиця як олійна та кормова культура / Ф. М. Архипенко, М. В. Войтовик, О. Л. Оксимець // Зб. наук. праць Ін-ту землеробства УААН. – К. : Нора-прінт, 2000. – Вип. 1. – С. 48–51.
6. Лікарські засоби. Належна практика культивування та збирання вихідної сировини рослинного походження. СТ-Н МОЗУ 42-4.5:2012 [Електронний ресурс]. – К. : Міністерство охорони здоров'я України, 2012. – 13 с. – Режим доступу : http://www.moz.gov.ua/docfiles/N118_2013_dod1.pdf.
7. Accumulation of Heavy Metals in Selected Medicinal Plants / H. Sarma, S. Deka, H. Deka, R. R. Saikia // Rev Environ Contam Toxicol. – 2011. – Vol. 214. – P. 63–86. doi: 10.1007/978-1-4614-0668-6_4
8. Установление уровней содержания тяжелых металлов в почвах Украины / Н. П. Вашкулат, В. И. Пальгов, Д. Р. Спектор, В. П. Дудник // Довкілля та здоров'я. – 2002. – № 2. – С. 44–46.
9. Quality control methods for medicinal plant materials / World Health Organization. – Geneva : World Health Organization, 1998. – 115 p.

References

1. Evans W. C. (1996). *Trease and Evans' Pharmacognosy*. (14th ed.) (pp. 36–40). London: W. B. Saunders Co. Ltd.
2. *The United States Pharmacopeia, XXXX; The National Formulary, XXXV* (2016). Retrieved from <http://www.usp.org/usp-nf>.
3. Vavilov, N. I. (1926). *Tsentry proiskhozhdeniya kul'turnykh rasteniy* [Studies on the Origin of Cultivated Plants]. Leningrad: Tipografiya imeni Gutenberga [in Russian]
4. Hadza, P. I. (Ed.). (2014). *Hirchytisia* [Mustard]. Ivano-Frankivsk: Nova era. [in Ukrainian]
5. Arkhypenko, F. M., Voitovyk, M. V., & Oksymets, O. L. (2000). Mustard as oilseed and fodder crop. *Zbirnyk naukovykh prats Instytutu zemlerobstva UAAN* [Collection of Scientific Papers of the Institute of agriculture UAAS], 1, 48–51. [in Ukrainian]
6. *Likarski zasoby. Nalezna praktyka kultyvuvannya ta zbyrannya vykhidnoi syrovyny roslynnoho pokhodzhennia. ST-N MOZU 42-4.5:2012* [Good practice of cultivation and harvesting of raw materials of plant origin]. (2012). Retrieved from http://www.moz.gov.ua/docfiles/N118_2013_dod1.pdf [in Ukrainian]
7. Sarma, H., Deka, S., Deka, H., & Saikia, R. R. (2011). Accumulation of Heavy Metals in Selected Medicinal Plants. *Rev Environ Contam Toxicol*, 214, 63–86. doi: 10.1007/978-1-4614-0668-6_4
8. Vashkulat, N. P., Palgov, V. I., Spector, D. R., & Dudnik, V. P. (2002). Establishing levels of heavy metals in soils of Ukraine. *Dovkilia ta zdorovia* [Environment & Health], 2, 44–46. [in Russian]
9. World Health Organization. (1998). *Quality control methods for medicinal plant materials*. Geneva: World Health Organization.

щих профилей для установления такой градации. Растения горчицы белой и черной в условиях Киевской области накапливали высокие уровни таких тяжелых металлов, как Ba, Cu, Fe, Mn, Mo, Sr, Zn, которые превышают известные показатели предельно допустимых концентраций, что свидетельствует о частичном загрязнении почв региона. Таким образом, растения названных культур могут быть фиторемедиаторами почв. Учитывая то, что в фармацевтической отрасли используют рафинированное масло

из семян горчицы, выявленные изменения накопления металлов в семенах не отразятся на качестве конечной лекарственной продукции. Результаты исследований свидетельствуют о перспективности выращивания горчицы белой и черной в Киевской области с целью получения сырья для переработки на лекарство.

Ключевые слова: горчица, семена, тяжелые металлы, предельно допустимая концентрация (ПДК), ICP-MS детектирование, фиторемедиация.

UDC 546.95: 615.244: 615.322.015/.016: 665.333.7

Rudnyk-Ivashchenko¹, O. I., Mykhalska, L. N.², & Schwartau, V. V.² (2016). Features of accumulation of inorganic elements in seeds of white mustard (*Sinapis alba* L.) and black mustard (*Brassica nigra* L.). *Sortovivčennâ ohor. prav sorti roslin* [Plant Varieties Studying and Protection], 4, 71–75.

¹Institute of Horticulture NAAS of Ukraine, 23 Sadova Str., Kyiv, 03027, Ukraine, e-mail: rudnik2015@ukr.net

²Institute of Plant Physiology and Genetics NAS of Ukraine, 31/17 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

Purpose. To investigate special aspects of accumulation of inorganic elements including heavy metals in seeds of white and black mustard to be grown for obtaining drugs. **Methods.** Field experiments, microwave digestion, ICP-MS and statistical analysis. **Results.** The content of inorganic elements including heavy metals was determined in the seeds of white and black mustard grown in Kiev Oblast. It was revealed that during the growing season plants of white mustard were able to accumulate such elements as aluminum, barium, strontium, zinc in seeds in concentrations that exceed their content in black mustard seeds, while compounds of calcium, cesium, iron, magnesium, manganese, potassium in a greater degree were accumulated in black mustard seeds. **Conclusions.** As legal and regulatory documents for important chemical elements don't contain the maximum permissible limits of their content in medicinal plants, it would make sense to launch

a comprehensive research with the involvement of specialists of relevant profiles in order to establish such a gradation. Plants of white and black mustard in Kiev Oblast have accumulated high levels of such metals as Ba, Cu, Fe, Mn, Mo, Sr, Zn that exceed the known limits of accumulation, indicating a partial contamination of soils in the region. Consequently, these plants can be used for phytoremediation of soils. Considering the fact that in the pharmaceutical practice refined mustard seed oil is used, revealed alterations of metal accumulation in seeds will not affect the quality of the final drugs. According to the research results, white and black mustard is promising for cultivation in Kiev Oblast with a view to obtain raw material that can be processed into drugs.

Keywords: mustard, seed, heavy metals, maximum permissible limit, ICP-MS detection, phytoremediation.

Надійшла 6.07.2016