

**Г.А. Гродзинська<sup>1</sup>, А.І. Самчук<sup>2</sup>, В.Б. Небесний<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Інститут еволюційної екології НАН України,  
вул. академіка Лебедєва, 37, Київ, 03143, Україна,  
+380 44 526 2051, info@ieenas.org

<sup>2</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України,  
просп. академіка Палладіна, 34, Київ, 03142, Україна,  
+380 44 424 1270, office.igmr@gmail.com

## ЗБАГАЧЕННЯ БІОМАСИ ЦІННИХ ЇСТІВНИХ ГРИБІВ СПОЛУКАМИ ГЕРМАНІЮ, СЕЛЕНУ І МОЛІБДЕНУ



**Вступ.** На сьогодні загальновідомо, що шапинкові гриби (макроміцети) є не лише традиційним продуктом харчування, а й невичерпним джерелом речовин, які мають широкий спектр застосування у фармакології. Деякі види грибів розглядають як джерело фізіологічно важливих, так званих есенціальних елементів, зокрема Cu, Fe, Zn, Cr, Se, Mo, Mn тощо.

**Проблематика.** Зважаючи на те, що мінеральний склад макроміцетів є досить специфічним і їм властива певна вибірковість накопичення окремих елементів з ґрунтів/субстратів (видоспецифічність накопичення), актуальними і перспективними є біотехнологічні розробки, спрямовані на збагачення есенціальними елементами мінерального складу грибної біомаси, що культивується на рідкому живильному середовищі, та плодових тіл цінних їстівних видів, які вирощують у поверхневій культурі. Збагачення мінерального складу потенційно має підвищувати лікарські властивості, біологічну активність і харчову цінність грибних добавок.

**Мета.** Визначення біоаккумуляційної здатності міцеліальної біомаси *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P.Kumm. і *P. eryngii* (DC.) Quéł. щодо сполук Ge, Se і Mo.

**Матеріали й методи.** Методом мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою (ICP-MS) досліджували вміст Ge, Se і Mo в міцеліальній біомасі трьох штамів видів роду *Pleurotus* при культивуванні на рідкому поживному середовищі із додаванням сполук германію, селену і молібдену у концентраціях 10, 25 і 50 мг/л відповідно.

**Результати.** Всі досліджені штами продемонстрували високу біоаккумуляційну здатність: для германію коефіцієнти акумуляції знаходилися у межах двох-трьох порядків (від 404 до 3577), селену — від одного до трьох порядків (від 19 до 2118), а молібдену — від одного до двох порядків величин (від 12 до 162).

**Висновки.** Подальші етапи розробки та впровадження збагачених есенціальними елементами грибних добавок мають включати дослідження біодоступності та ефективності таких препаратів, медико-біологічні та клінічні випробування.

*Ключові слова:* їстівні та лікарські гриби, *Pleurotus* spp., біоаккумуляція, есенціальні елементи.

У сучасному світі використання грибів де-що відрізняється від історично усталеного — гриби є не лише традиційним продуктом харчування, а й невичерпним джерелом речовин, які мають широкий спектр застосування у фармакології. На сьогодні описано вже понад 130 лікувальних ефектів вищих грибів, зокре-

ма протипухлинний, гепатопротекторний, антиоксидантний, протидіабетичний, серцево-судинний, антибактеріальний, противірусний, детоксифікуючий, знижуючий холестерин, проти ожиріння, проти старіння, нейрогенеруючий тощо [1–3].

Деякі види грибів розглядають як джерело фізіологічно важливих, так званих есенціальних елементів, таких як Cu, Fe, Zn, Cr, Se, Mo,

Mn тощо. Враховуючи той факт, що мінеральний склад макроміцетів є досить специфічним і існує певна вибірковість накопичення окремих елементів з субстратів (видоспецифічність накопичення), цікавими і перспективними дослідженнями є біотехнологічні розробки, спрямовані на збагачення есенціальними елементами мінерального складу грибної біомаси, що культивується на рідкому живильному середовищі, та плодкових тіл у поверхневій культурі [4–9].

Метою дослідження було визначення біоаккумулятивної здатності міцеліальної біомаси цінних їстівних та лікарських видів грибів — *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. (глива звичайна) і *P. eryngii* (DC.) Quél. (королівська глива) при додаванні сполук селену, молібдену і германію до живильного середовища у процесі їх культивування.

Для визначення рівнів біоаккумуляції мінеральних елементів використовували чисті культури *P. ostreatus* (штами 198 і 1796) та *P. eryngii* (штам 1863) з колекції грибних культур Інституту ботаніки ім. М.Г.Холодного НАН України (ІВК) [10]. Міцеліальні диски діаметром 0,5 см переносили на рідке стерильне живильне середовище (дріжджовий екстракт із додаванням  $K_2SeO_4$ ,  $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$  та  $GeO_2$  у трьох концентраціях — 10, 25 і 50 мг/л, та контрольний варіант — без додавання сполук). Міцеліальну біомасу культивували без перемішування у скляних ємкостях (200 мл) у термостаті при температурі  $25 \pm 0,5$  °C упродовж 20 діб, потім відокремлювали від живильного середовища. Дослід виконували в трикратній повторності. Отриману грибну біомасу висушували при 105 °C та аналізували методом мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою на приладі ICP-MS analyzer Element-2 (Німеччина) за методом О.М. Пономаренка зі співавторами [11].

Застосовувані розчини і реактиви — лужні плавкі  $Na_2O_2$ ,  $LiBO_2$  (ч. д. а.), концентровані HF, HCl,  $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$ ,  $H_3PO_4$  (ос. ч.) додатково очищували з використанням системи SUB-

BOILING. Воду з опором 18,2 Мом/см отримували з допомогою системи DIRECT-03 фірми MILLIPORE (США). Розчинення проб проводили у мікрохвильовій (МХ) печі Ethos фірми Milestone (Італія). Робоча частота МХ-випромінення — 2450 МГц, максимальна потужність — 1600 Вт. Як внутрішній стандарт використовували індій —  $^{115}I$ , як зовнішній — стандартні зразки габро-ефективного (СГД-1А; СГД-2) і хвостів золотоносної руди (СЗХ-3).

Морфологічні особливості міцеліальних колоній досліджували за допомогою світлового та скануючого електронного мікроскопів (СЕМ) за методом А.С. Бухало зі співавт. [12]. Зразки міцелію фіксували парами  $OsO_4$  (1 %-ий розчин) упродовж 96 год. Після висушування їх покривали золотом у вакуумному іонному напилювачі JEOL JFC-1100 (Японія) і досліджували СЕМ (JEOL JSM-6060 LA, Японія) при збільшенні від  $\times 100$  до  $\times 2000$ .

Відомо, що концентрації деяких макро- і мікроелементів в плодкових тілах шапинкових грибів суттєво відрізняються від таких у рослин, що обумовлено, в першу чергу, відмінностями в характері метаболізму. Публікації останніх десятиліть висвітлюють роль іонів металів і окремих рідкоземельних елементів у фізіології макроміцетів, кореляції між здатністю накопичувати певні мінеральні елементи, зокрема й токсичні, і видовою належністю грибів, використання макроміцетів як біоіндикаторів антропогенного забруднення довкілля, а також унікальні біосорбційні властивості, які дозволяють розглядати шапинкові гриби, з одного боку, як сорбенти, а з іншого — як важливе джерело незамінних та рідкісних мінеральних елементів для людського організму [13–23].

Біологічна роль сполук германію (Ge) полягає у підсиленні процесів кровотворення у кістковому мозку, антиоксидантній та протипухлинній дії.

Селен (Se) — есенціальний елемент, який, окрім вираженої антиоксидантної та протипухлинної дії, підвищує імунітет, сприяє нор-

мальному функціонуванню ендокринної системи. Деякі захворювання, зокрема хворобу Кешана, дисфункцію щитоподібної залози, остеоартрити, пов'язують саме з дефіцитом селену в організмі. За даними О.П. Перепелиці [24], оптимальна середньодобова доза селену для людини складає від 0,139 до 0,185 мг, тоді як добове надходження селену у дозі 1 мг/кг може викликати у людини хронічне отруєння. На цьому елементі в останні роки сфокусовано увагу фармакологів та спеціалістів з біомедицини. Металоїд Se за своїми фізико-хімічними властивостями подібний до сірки (S). Se та його біологічно активна форма представлена амінокислотою селен-цистеїном. Селен входить до складу широко відомої мультівітамінної та мультимінеральної добавки «Centrum» (фірма Pfizer, США) у кількості 55 мкг, що складає 79 % добової потреби дорослої людини.

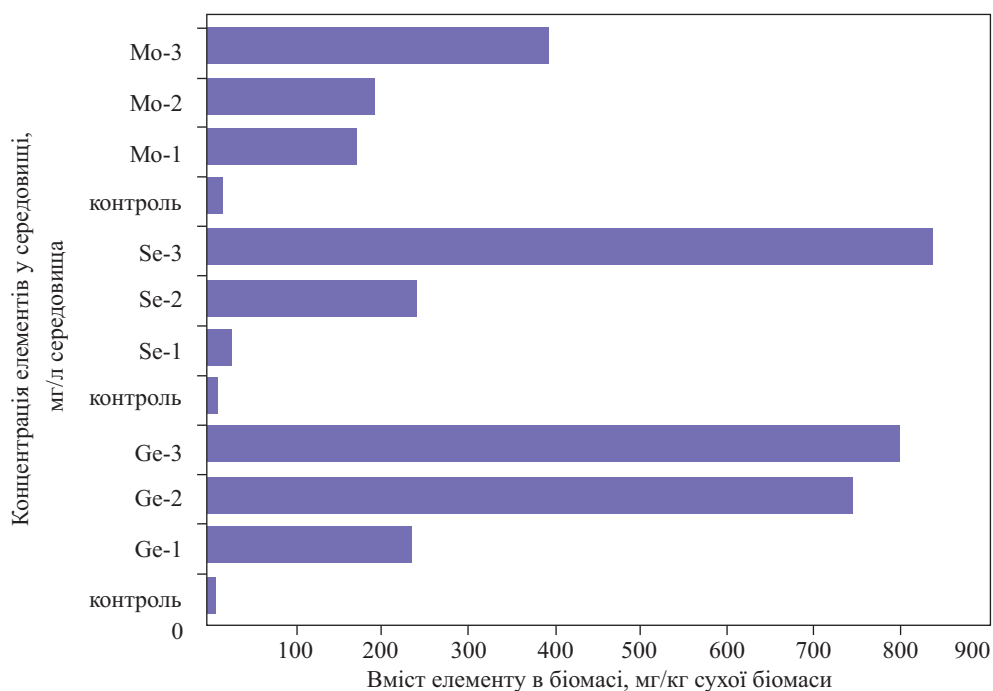
Біологічна роль молібдену (Mo) полягає в участі у метаболічних процесах, антиоксидантній дії, здатності прискорювати розклад пуринів та виводити з організму сечову кислоту (профілактика подагри). Цей метал входить до складу низки ферментів, бере участь у клітинному диханні, синтезі аскорбінової кислоти, посилює дію гормонів гіпофізу, інсуліну, попереджує відкладення холестерину на стінках судин [24]. Загалом, враховуючи високу токсичність сполук германію і селену, у проведених культуральних дослідженнях було застосовано невисокі їх концентрації — 10, 25 і 50 мг/л.

Попереднє вивчення мінерального складу дикорослих і культивованих видів з цінними поживними та лікарськими властивостями має велике значення для визначення рівнів можливого насичення біомаси цінними макро- і мікроелементами [25, 26]. У поєднанні з високим вмістом вітамінів, ферментів, інших біологічно активних речовин, збагачений вміст життєво необхідних мінеральних елементів потенційно має підвищувати фармакологічну дію препаратів конкретного виду лікарського мак-

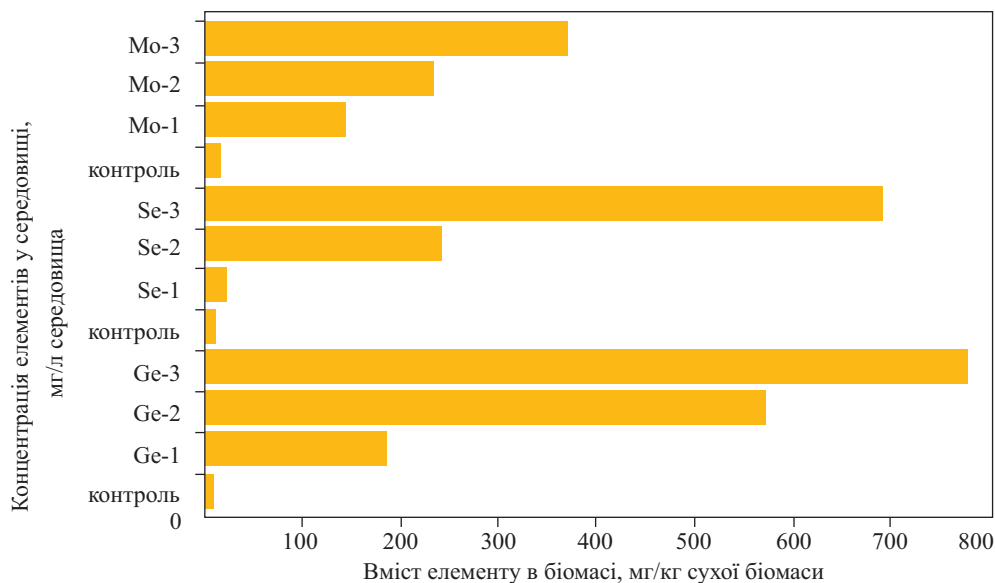
роміцету. Проведені авторські дослідження елементного складу 26 видів дикорослих макроміцетів з лісових екосистем зі збереженим рослинним покривом і слабо вираженим антропогенним навантаженням, зібраних у Київській, Житомирській, Волинській, Рівненській, Чернігівській областях та Закарпатській областях України показали, що найвищі концентрації селену було виявлено не лише в плодovих тілах цінних їстівних і лікарських видів — білого гриба (*Boletus edulis*) (до 32 мг/кг сухої маси (с.м.)) та підосичника *Leccinum aurantiacum* (до 24 мг/кг с. м.) з різних місцезростань, а й у плодovих тілах гриба-зонтика *Macrolepiota procera* (до 26 мг/кг сухої маси) та опенька справжнього (*Armillaria mellea*) (до 24 мг/кг с. м.). Водночас, слід зазначити, що максимальні рівні молібдену було зафіксовано лише у мікоризоутворювачів з порядку *Boletales* — *L. aurantiacum* (до 30,16 мг/кг с. м.), польського гриба (*Boletus badius*) (до 19,78 мг/кг с. м.) і *B. edulis* (до 15,48 мг/кг с.м.), в той час як у представників інших екологічних груп макроміцетів зазначений елемент у плодovих тілах був у межах 0,8–2,0 мг/кг с. м.

Вміст германію в плодovих тілах макроміцетів зафіксовано в межах 0,16–0,17 мг/кг с. м. у культивованого виду — кільцевика (*Stropharia rugosoannulata*) та у дикорослих видів — білого соснового гриба (*Boletus pinicola*) (0,099 мг/кг с. м.), *B. edulis* (0,055 мг/кг с.м.) і червоного мухомора (*Amanita muscaria*) (0,04 мг/кг с. м.). Мінімальне значення відмічено у моховика зеленого (*Boletus subtomentosus*) і сиріжки синьожовтої (*Russula cyanoxantha*) — 0,001 мг/кг с. м.

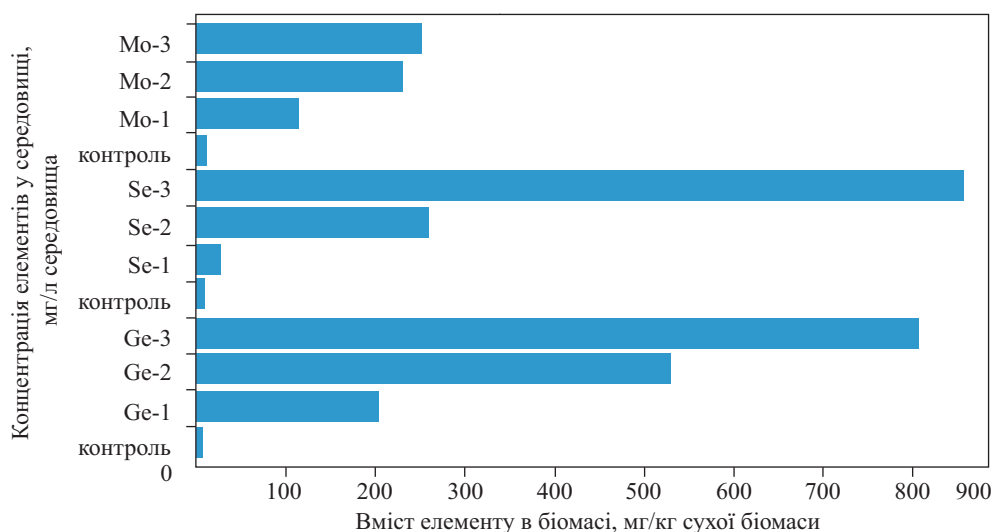
У всіх досліджених в лабораторних умовах штамів видів роду *Pleurotus* було виявлено надзвичайно високу біоаккумулятивну активність щодо досліджуваних мінеральних елементів (особливо стосовно германію і селену), рівень їх накопичення достовірно корелював з доданими концентраціями (рис. 1–3, таблиця). Для оцінки ступеню накопичення використовували коефіцієнт біоаккумуляції (КБА), який дорівнює співвідношенню вмісту окре-



**Рис. 1.** Біоаккумулятивна активність міцеліальної біомаси *Pleurotus ostreatus* (штам 198) щодо мінеральних додатків  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{SeO}_4$  та  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  у трьох концентраціях: Ge-1, Se-1 і Mo-1 – 10 мг/л; Ge-2, Se-2 і Mo-2 – 25 мг/л; Ge-3, Se-3 і Mo-3 – 50 мг/л живильного середовища



**Рис. 2.** Біоаккумулятивна активність міцеліальної біомаси *Pleurotus ostreatus* (штам 1796) щодо мінеральних додатків  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{SeO}_4$  та  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  у трьох концентраціях: Ge-1, Se-1 і Mo-1 – 10 мг/л, Ge-2, Se-2 і Mo-2 – 25 мг/л, Ge-3, Se-3 і Mo-3 – 50 мг/л живильного середовища



**Рис. 3.** Біоаккумулятивна активність міцеліальної біомаси *Pleurotus eryngii* щодо мінеральних додатків  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{SeO}_4$  та  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  у трьох концентраціях: Ge-1, Se-1 і Mo-1 – 10 мг/л, Ge-2, Se-2 і Mo-2 – 25 мг/л, Ge-3, Se-3 і Mo-3 – 50 мг/л живильного середовища.

мого елементу у збагаченій біомасі до вмісту цього елементу в контролі.

За умов додавання до середовища  $\text{GeO}_2$  у концентрації 50 мг/л максимальна акумуляція германію була відмічена у *P. eryngii* – до 798 мг/кг с. м., коефіцієнт біоаккумуляції досягав 3577. У *P. ostreatus* (штами 198 і 1796) мали дещо нижчі показники, 788 (КБА – 1452) і 770 мг/кг с. м. (КБА – 1726) відповідно.

Серед досліджених штамів видів р. *Pleurotus*, біомаса *P. eryngii* найбільш активно акумулювала селен – при максимальній доданій концентрації його вміст зростав до 847 мг/кг с. м. (КБА – 763). Водночас КБА для селену у *P. ostreatus* 198 був вищим – 2118, а вміст у біомасі становив до 826 мг/кг с. м.

Менш активно грибна біомаса всіх досліджених штамів акумулювала молібден. Найвищі рівні було зафіксовано у зразках *P. ostreatus* – до 387 мг/кг с. м. у штаму 198 та до 361 мг/кг с. м. у штаму 1796. Максимальні коефіцієнти біоаккумуляції молібдену для досліджених штамів знаходилися у межах 35–162.

Морфологічні ознаки міцелію при додаванні досліджуваних сполук есенціальних елементів вивчали методом скануючої електрон-

Таблиця

**Вміст германію, селену і молібдену в міцеліальній біомасі та коефіцієнти біоаккумуляції (КБА) видів роду *Pleurotus***

Елемент*	Вміст в біомасі, мг/кг	КБА
<i>Pleurotus ostreatus</i> 198		
Германій:		
контроль	0,543 ± 0,027	
Ge-1	222,84 ± 13,37	410,4
Ge-2	731,13 ± 36,56	1346,5
Ge-3	788,33 ± 39,42	1451,8
Селен:		
контроль	0,39 ± 0,02	
Se-1	19,06 ± 0,95	48,9
Se-2	230,85 ± 11,54	591,9
Se-3	826,15 ± 41,31	2118,3
Молібден:		
контроль	6,40 ± 0,32	
Mo-1	162,87 ± 8,14	25,5
Mo-2	181,74 ± 9,09	28,4
Mo-3	387,2 ± 19,36	60,5
<i>Pleurotus ostreatus</i> 1796		
Германій:		
контроль	0,446 ± 0,022	
Ge-1	180,32 ± 9,02	404,3
Ge-2	564,35 ± 28,22	1265,4
Ge-3	769,60 ± 38,48	1725,6



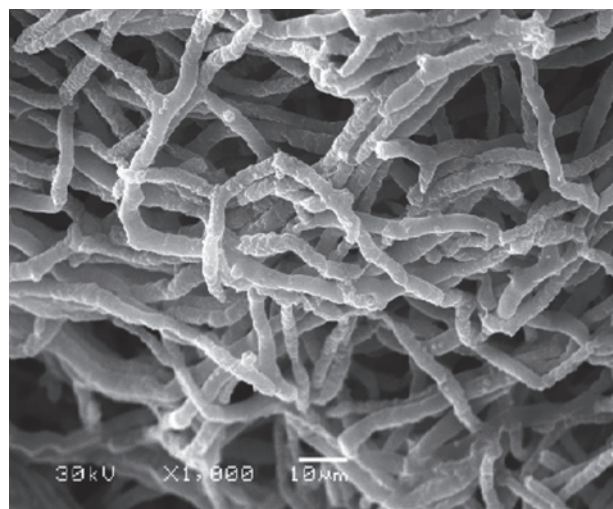
## Закінчення таблиці

Елемент*	Вміст в біомасі, мг/кг	КБА
<b>Селен:</b>		
контроль	0,488 ± 0,024	
Se-1	16,0 ± 0,8	32,8
Se-2	232,94 ± 11,65	477,3
Se-3	684,92 ± 34,25	1403,5
<b>Молибден:</b>		
контроль	10,23 ± 0,51	
Mo-1	131,27 ± 6,56	12,8
Mo-2	221,93 ± 11,10	21,7
Mo-3	361,19 ± 18,06	35,3
<i>Pleurotus eryngii</i> 1863		
<b>Германій:</b>		
контроль	0,223 ± 0,01	
Ge-1	194,92 ± 9,75	874,0
Ge-2	520,04 ± 26,0	2332,0
Ge-3	797,67 ± 39,88	3577,0
<b>Селен:</b>		
контроль	1,110 ± 0,056	
Se-1	21,07 ± 1,05	19,0
Se-2	250,65 ± 12,53	225,8
Se-3	847,24 ± 42,36	763,3
<b>Молибден:</b>		
контроль	1,481 ± 0,074	
Mo-1	104,25 ± 5,21	70,4
Mo-2	221,02 ± 11,05	149,2
Mo-3	240,36 ± 12,02	162,3

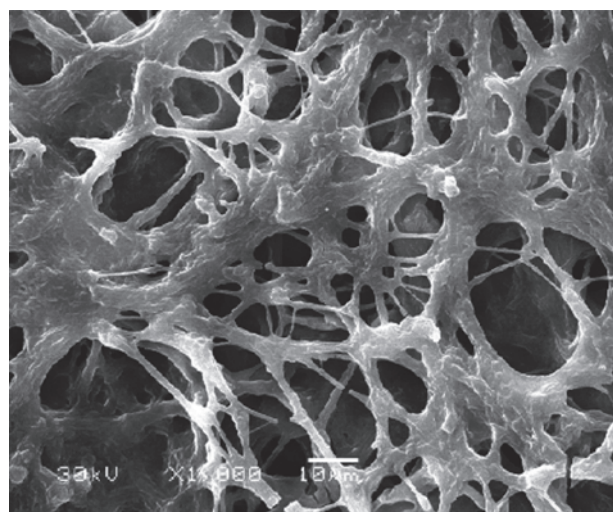
\*Примітка: додавання сполук германію, селену і молибдену до живильного середовища у трьох концентраціях — 10 мг/л живильного середовища (Ge-1, Se-1, Mo-1); 25 мг/л (Ge-2, Se-2, Mo-2); 50 мг/л (Ge-3, Se-3, Mo-3).

ної мікроскопії. Зокрема, було встановлено, що зі збільшенням доданих концентрацій селеніту калію ( $K_2SeO_4$ ) спостерігалися морфологічні зміни в текстурі колонії, потовщення стінок гіф, утворення анастомозів, переплетення та зрощення гіф, що свідчить про несприятливий вплив підвищених концентрацій на фізіологічний стан та ростові процеси міцелію (рис. 4).

Отримані дані підтверджують результати, отримані M.C.S. da Silva зі співавторами [9], щодо певної токсичності для грибів селеніту натрію у концентраціях понад 25,4 мг/кг середовища, що проявляється у зміні їхньої макро- і мікроморфології, зменшенні розміру гіф,



а



б

**Рис. 4.** Анастомози та зрощення гіф *Pleurotus ostreatus* (штам 198) (СЕМ,  $\times 1000$ ) при додаванні до середовища  $K_2SeO_4$  у різних концентраціях: а — 10 мг/л; б — 50 мг/л

зниженні швидкості ростових процесів і приросту біомаси. Таким чином, при розробці харчових добавок зі збагаченої есенціальними елементами грибної біомаси, слід дотримуватися балансу між оптимальним рівнем вмісту цих елементів у біомасі і фізіологічно повноцінним станом самого міцелію.

У поєднанні з високим вмістом протеїнів, вуглеводів, вітамінів, ферментів, інших біологічно активних речовин, збалансований вміст

життєво необхідних мінеральних елементів потенційно має підвищувати фармакологічну дію препаратів певного виду лікарського гриба. Безумовно, подальші етапи розробки та впровадження вітчизняних біологічних добавок на основі грибних продуктів мають включати дослідження біодоступності та ефективності таких препаратів, медико-біологічні та клінічні випробування.

Таким чином, вивчення мінерального складу дикорослих і культивованих видів з цінними поживними і лікарськими властивостями має велике значення для визначення можли-

вих та безпечних рівнів насичення біомаси цінними макро- і мікроелементами.

Дослідження показали високу біоакмуляційну здатність певних штамів *P. ostreatus* та *P. eryngii* щодо мінеральних добавок селену, германію і молібдену. Коефіцієнти сорбції для германію становили  $10^2$ – $10^3$ , для Se –  $10$ – $10^3$ , а для Мо –  $10$ – $10^2$ . Отже, збагачення грибної біомаси культивованих цінних лікарських та їстівних видів збалансованим вмістом есенціальних елементів потенційно має підвищувати їх фармакологічну дію.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Макромицеты: лекарственные свойства и биологические особенности. Т. 2. Киев: Наш формат, 2016. 261 с.
2. Chaturvedi V.K., Agarwal S., Gupta K.K., Ramteke P.W., Singh M.P. Medicinal mushroom: boon for therapeutic applications. *3 Biotech*. 2018. V. 8. P. 334. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1358-0>
3. Wasser S.P. Medicinal Mushrooms in Human Clinical Studies. Part I. Anticancer, Oncoimmunological, and Immunomodulatory Activities: A Review. *Int. J. Med. Mushrooms*. 2017. V. 19, no. 4. P. 279–317. doi:10.1615/IntJMedMushrooms.v19.i4.10
4. Stajic M., Milenkovic I., Brceski I., Vukojevic J., Duletic-Lausvevic S. Mycelial growth of edible and medicinal oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.:Fr.) Kumm.) on selenium-enriched media. *Int. J. Med. Mushrooms*. 2002. V. 4, no. 3. P. 241–244.
5. Гродзинская А.А., Качалова Н.М. Перспективы биотехнологии грибов в Украине. *Nauka innov*. 2003. Т. 1, № 1. С. 64–69.
6. Beelman R.B., Roysse D.J. Selenium enrichment of *Grifola frondosa* (Dicks.: Fr.) S.F. Gray (Maitake) Mushrooms. *Int. J. Med. Mushrooms*. 2005. V. 7, no. 3. P. 340.
7. Turlo J., Gutkowska B., Herold F. Effect of selenium enrichment on antioxidant activities and chemical composition of *Lentinula edodes* (Berk.) Pegl. *Mycelia extracts. Food and Chemical Toxicology*. 2010. V. 48. P. 1085–1091.
8. Bhatia P., Aureli F., D'Amato M., Prakash R., Cameotra S.S., Nagaraja T.P., Cubadda F. Selenium bioaccessibility and speciation in biofortified *Pleurotus* mushrooms grown on selenium-rich agricultural residues. *Food Chem*. 2013. V. 140. P. 225–230.
9. da Silva M.C.S., Nunes M.D., da Luz J.M.R., Kasuya M.C.M. Mycelial Growth of *Pleurotus* Spp. in Se-Enriched Culture Media. *Advances in Microbiology*. 2013. V. 3. P. 11–18. <http://dx.doi.org/10.4236/aim.2013.38A003>
10. Бісько Н.А., Ломберг М.Л., Митропольська Н.Ю., Михайлова О.Б. Колекція культур шапинкових грибів (ІВК). Київ: Альтерпрес, 2016. 120 с.
11. Пономаренко О.М., Самчук А.І., Красюк О.П., Макаренко Т.І., Антоненко О.Г. Аналітичні схеми пробопідготовки гірських порід та мінералів і визначення в них мікроелементів методом мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою (ISP-MS). *Мінералогічний журнал*. 2008. № 4. С. 97–103.
12. Buchalo A., Mykchaylova O., Lomberg M., Wasser S.P. Microstructures of vegetative mycelium of macromycetes in pure cultures. Eds. P.A. Volz and E. Nevo. Kyiv: M.G. Kholodny Institute of Botany, 2009. 224 p.
13. Соломко Э.Ф., Гродзинская А.А., Пашенко Л.А., Пчелинцева Р.К. Минеральный состав некоторых видов культивируемых и дикорастущих грибов класса Basidiomycetes. *Микология и фитопатология*. 1986. Т. 20, № 6. С. 474–478.
14. Vetter J. Selenium content of some higher fungi. *Acta Alimentaria*. 1993. V. 22, no. 4. P. 383–387.
15. Grodzinskaya A.A., Kotliar V.Z., Buchalo A.S. Influence of mineral elements on the mycelia growth and their uptake by *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.). *Int. J. Med. Mushrooms*. 2001. V. 3, no. 2–3. P. 151.
16. Baldrian P., Gabriel J. Copper and cadmium increase laccase activity in *Pleurotus ostreatus*. *FEMS Microbiology Letters*. 2002. V. 206, no. 1. P. 69–74. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2002.tb10988.x>

17. Костычев А.А. Биоабсорбция тяжелых металлов и мышьяка агарицидными и гастероидными базидиомицетами: автореф. дис. ... канд. биол. наук. 03.00.24. Москва, 2009. 23 с.
18. Petrini O., Cocchi L., Vescovi L., Petrini L. Chemical elements in mushrooms and their potential taxonomic significance. *Mycol. Progr.* 2009. V. 8, no. 3. P. 171–180.
19. Kalač P. Trace element content in European species of wild growing edible mushrooms: A review for the period 2000–2009. *Food Chemistry.* 2010. V. 122. P. 2–15.
20. Макромицеты: лекарственные свойства и биологические особенности / под ред. проф. С.П.Вассера. Киев: Наш формат, 2012. 285 с.
21. Falandysz J., Borovička J. Macro and trace mineral constituents and radionuclids in mushrooms: health benefits and risks. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2013. V. 97, no. 2. P. 477–501.
22. Mleczek M., Niedzielski P., Kalač P., Budka A., Siwulski M., Gąsecka M., Rzymiski P., Magdziak Z., Sobieralski K. Multielemental analysis of 20 mushroom species growing near a heavily trafficked road in Poland. *Environ Sci Pollut Res.* 2016. V. 23. P. 16280–16295.
23. Голубкина Н.А., Миронов В.Е. Элементный состав грибов в условиях контрастных антропогенных нагрузок. *Геохимия.* 2018. № 10. С. 3–16. <https://doi.org/10.1134/S0016752518100084>
24. Перепелиця О.П. Екологія та ендекологія елементів: Довідник з екологічного захисту. Київ: Екохім, 2004. 736 с.
25. Гродзинська Г.А., Самчук А.І., Сирчін С.О. Вміст мінеральних елементів у болетальних грибах. *Вісник НАН України.* 2010. № 6. С. 29–35.
26. Гродзинська Г.А., Самчук А.І., Дудка І.О. Біоаккумуляція мінеральних елементів плодовими тілами дикорослих макромицетів. *Екологічний вісник.* 2015. Т. 92, № 5. С. 22–24.

#### REFERENCES

1. Gabriel, J. (Ed.). (2016). *Macromycetes: medicinal properties and biological peculiarities*. V. 2. Kyiv: Nash format. 261 p. [in Russian].
2. Chaturvedi, V. K., Agarwal, S., Gupta, K. K., Ramteke, P. W., Singh, M. P. (2018). Medicinal mushroom: boon for therapeutic applications. *3 Biotech.*, 8, 334. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1358-0>
3. Wasser, S. P. (2017). Medicinal Mushrooms in Human Clinical Studies. Part I. Anticancer, Oncoimmunological, and Immunomodulatory Activities: A Review. *Int. J. Med. Mushrooms*, 19(4), 279–317. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.v19.i4.10>
4. Stajic, M., Milenkovic, I., Brceski, I., Vukojevic, J., Duletic-Lausvevic, S. (2002). Mycelial growth of edible and medicinal oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.:Fr.) Kumm.) on selenium-enriched media. *Int. J. Med. Mushrooms*, 4(3), 241–244.
5. Grodzinskaya, A. A., Kachalova, N. M. (2003). Perspektivnyi biotekhnologii gribov v Ukraine. *Nauka innov.*, 1(1), 64–69 [in Russian].
6. Beelman, R. B., Royse, D. J. (2005). Selenium enrichment of *Grifola frondosa* (Dicks.: Fr.) S.F. Gray (Maitake) Mushrooms. *Int. J. Med. Mushrooms*, 7(3), 340.
7. Turło, J., Gutkowska, B., Herold, F. (2010). Effect of selenium enrichment on antioxidant activities and chemical composition of *Lentinula edodes* (Berk.) Pegl. *Mycelia extracts. Food and Chemical Toxicology*, 48, 1085–1091.
8. Bhatia, P., Aureli, F., D'Amato, M., Prakash, R., Cameotra, S. S., Nagaraja, T. P., Cubadda, F. (2013). Selenium bio-accessibility and speciation in biofortified *Pleurotus* mushrooms grown on selenium-rich agricultural residues. *Food Chem.*, 140, 225–230.
9. da Silva, M. C. S., Nunes, M. D., da Luz, J. M. R., Kasuya, M. C. M. (2013). Mycelial Growth of *Pleurotus* spp. in Se-Enriched Culture Media. *Advances in Microbiology*, 3, 11–18. <http://dx.doi.org/10.4236/aim.2013.38A003>
10. Bisko, N. A., Lomberh, M. L., Mytropolska, N. Iu., Mykhailova, O. B. (2016). *Kolektsiia kultur shapynkovykh hrybiv (IBK)*. Kyiv: Alterpres [in Ukrainian].
11. Ponomarenko, O. M., Samchuk, A. I., Krasiuk, O. P., Makarenko, T. I., Antonenko, O. H. (2008). Analitichni skhemy probidhhotovky hirskykh porid ta mineraliv i vyznachennia v nykh mikroelementiv metodom mas-spektrometrii z induktsiino zviazanou plazmoiu (ISP-MS). *Mineralohichnyi zhurnal*, 4, 97–103 [in Ukrainian].
12. Buchalo, A., Mykchaylova, O., Lomberg, M., Wasser, S. P. (2009). *Microstructures of vegetative mycelium of macromycetes in pure cultures*. Eds. P. A. Volz and E. Nevo. Kyiv: M.G. Kholodny Institute of Botany.
13. Solomko, E. F., Grodzinskaya, A. A., Paschenko, L. A., Pchelintseva, R. K. (1986). Mineral composition of some cultivated and wild Basidiomycete species. *Mikologiya i fitopatologiya*, 20(6), 474–478 [in Russian].



14. Vetter, J. (1993). Selenium content of some higher fungi. *Acta Alimentaria*, 22(4), 383–387.
15. Grodzinskaya, A. A., Kotliar, V. Z., Buchalo, A. S. (2001). Influence of mineral elements on the mycelia growth and their uptake by *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.). *Int. J. Med. Mushrooms*, 3(2–3), 151.
16. Baldrian, P., Gabriel, J. (2002). Copper and cadmium increase laccase activity in *Pleurotus ostreatus*. *FEMS Microbiology Letters*, 206(1), 69–74. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2002.tb10988.x>
17. Kostychev, A. A. (2009). *Bioabsorption of Heavy Metals and Arsenic by Agaricoid and Gasteroid Basidiomycetes*. PhD (Biol). Moscow [in Russian].
18. Petrini, O., Cocchi, L., Vescovi, L., Petrini, L. (2009). Chemical elements in mushrooms and their potential taxonomic significance. *Mycol. Progr.*, 8(3), 171–180.
19. Kalač, P. (2010). Trace element content in European species of wild growing edible mushrooms: A review for the period 2000–2009. *Food Chemistry*, 122, 2–15.
20. Wasser, S. P. (Ed.). (2012). *Macromycetes: medicinal properties and biological peculiarities*. Kyiv. 285 p. [in Russian].
21. Falandysz, J., Borovička, J. (2013). Macro and trace mineral constituents and radionuclids in mushrooms: health benefits and risks. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 97(2), 477–501.
22. Mleczek, M., Niedzielski, P., Kalač, P., Budka, A., Siwulski, M., Gąsecka, M., Rzymiski, P., Magdziak, Z., Sobieralski, K. (2016). Multielemental analysis of 20 mushroom species growing near a heavily trafficked road in Poland. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 23, 16280–16295.
23. Golubkina, N. A., Mironov, V. E. (2018). Elementnyi sostav gribov v usloviyah kontrastnykh antropogennykh nagruzok. *Geokhimiya*, 10, 3–16. <https://doi.org/10.1134/S0016752518100084> [in Russian].
24. Perepelytsia, O. P. (2004). *Ekokhimiia ta endoekolohiia elementiv: Dovidnyk z ekolohichnoho zakhystu*. Kyiv. 736 s. [in Ukrainian].
25. Grodzynska, G. A., Samchuk, A. I., Syrchin, S. O. (2010). Mineral elements content in Boletales mushrooms. *Visnyk NAN Ukrainy*, 6, 29–35 [in Ukrainian].
26. Grodzynska, G. A., Samchuk, A. I., Dudka, I. O. (2015). Bioaccumulation of mineral elements by fruiting bodies of wild macromycetes. *Ekolohichni visnyk*, 92(5), 22–24 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції / Received 23.01.19

Статтю прорецензовано / Revised 11.02.19

Статтю підписано до друку / Accepted 21.02.19

Grodzynska, G.A.<sup>1</sup>, Samchuk, A.I.<sup>2</sup>, and Nebesnyi, V.B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute for Evolutionary Ecology, the NAS of Ukraine,  
37, Acad. Lebedev St., Kyiv, 03143, Ukraine,  
+380 44 526 2051, info@ieenas.org

<sup>2</sup>Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy, and Ore Formation, the NAS of Ukraine,  
34, Acad. Palladin Ave, Kyiv, 03142, Ukraine,  
+380 44 424 1270, office.igmr@gmail.com

#### ENRICHMENT OF EDIBLE MUSHROOM BIOMASS WITH COMPOUNDS OF GERMANIUM, SELENIUM, AND MOLYBDENUM

**Introduction.** Today, it is well known that mushrooms (pileated fungi, macromycetes) are not only a traditional food, but also an inexhaustible source of substances that have a wide range of pharmacological applications. Some species of mushrooms are considered a source of physiologically important, so-called essential elements, such as Cu, Fe, Zn, Cr, Se, Mo, Mn, etc.

**Problem Statement.** The biotechnological approaches aiming at enriching the essential elements of the mineral composition of mushroom biomass that is cultivated on a liquid nutrient medium and the fruit bodies of valuable edible species cultivated in the surface culture are relevant and promising, given the mineral composition of macromycetes is rather specific and characterized by a certain selectivity of the accumulation of individual elements from soils / substrates (species-specificity of accumulation). Enrichment with essential elements potentially has to increase the medicinal properties, biological activity, and nutritional value of such mushroom supplements.

**Purpose.** To identify the bio-accumulative ability of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. and *P. eryngii* (DC.) Quél. mycelial biomass with the compounds of Ge, Se, and Mo.

**Materials and Methods.** The content of Ge, Se, and Mo in the mycelial biomass of three strains of the *Pleurotus* genus has been studied by the inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) method during cultivation on a liquid

nutrient medium with the addition of germanium, selenium, and molybdenum compounds at a concentration of 10, 25, and 50 mg/l, respectively.

**Results.** All tested strains have shown a high bio-accumulative ability: for germanium, the coefficients of accumulation are within the range from two to three orders of magnitude (404–3577), for selenium, they vary from one to three orders of magnitude (19–2118), and for molybdenum, they range from one to two orders of magnitude (12–162).

**Conclusions.** The further development and implementation of mushroom supplements enriched with essential elements should include study of the bioavailability and efficacy of the preparations, as well as biomedical and clinical trials.

*Keywords:* culinary-medicinal mushrooms, *Pleurotus spp.*, bioaccumulation, and essential elements.

А.А. Гродзинская<sup>1</sup>, А.И. Самчук<sup>2</sup>, В.Б. Небесний<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт эволюционной экологии НАН Украины,  
ул. академика Лебедева, 37, Киев, 03143, Украина,  
+380 44 526 2051, info@ieenas.org

<sup>2</sup>Институт геохимии, минералогии и рудообразования  
им. Н.П. Семененко НАН Украины,  
просп. академика Палладина, 34, Киев, 03142, Украина,  
+380 44 424 1270, office.igmr@gmail.com

#### ОБОГАЩЕНИЕ БИОМАССЫ ЦЕННЫХ СЪЕДОБНЫХ ГРИБОВ СОЕДИНЕНИЯМИ ГЕРМАНИЯ, СЕЛЕНА И МОЛИБДЕНА

**Введение.** Сегодня общеизвестно, что шляпочные грибы (макромицеты) являются не только традиционным продуктом питания, а и неисчерпаемым источником веществ, имеющих широкий спектр применения в фармакологии. Некоторые виды грибов рассматриваются как источник физиологически важных, так называемых эссенциальных, элементов, в частности Cu, Fe, Zn, Cr, Se, Mo, Mn и др.

**Проблематика.** Учитывая то, что минеральный состав макромицетов достаточно специфичен и им свойственна определенная избирательность накопления отдельных элементов из почвы/субстратов (видоспецифичность накопления), актуальными и перспективными являются биотехнологические разработки, направленные на обогащение эссенциальными элементами состава грибной биомассы, культивируемой на жидкой питательной среде и плодовых тел ценных съедобных видов, выращиваемых в поверхностной культуре. Обогащение минерального состава потенциально должно повышать лекарственные свойства, биологическую активность и пищевую ценность таких грибных добавок.

**Цель.** Определение биоаккумуляционной способности мицелиальной биомассы *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P.Kumm. и *P. eryngii* (DC.) Quéл. относительно соединений Ge, Se и Mo.

**Материалы и методы.** Методом масс-спектрометрии с индукционно связанной плазмой (ICP-MS) исследовали содержание Ge, Se и Mo в мицелиальной биомассе трех штаммов видов рода *Pleurotus* при культивировании на жидкой питательной среде с добавлением соединений германия, селена и молибдена в концентрациях 10, 25 и 50 мг/л соответственно.

**Результаты.** Все исследованные штаммы продемонстрировали высокую биоаккумуляционную активность: для германия коэффициенты аккумуляции находились в пределах двух-трех порядков (от 404 до 3577), селена — от одного до трех порядков (от 19 до 2118), а молибдена — от одного до двух порядков величин (от 12 до 162).

**Выводы.** Дальнейшие этапы разработки и внедрения обогащенных эссенциальными элементами грибных пищевых добавок должны включать исследования биодоступности и эффективности таких препаратов, медико-биологические и клинические испытания.

*Ключевые слова:* съедобные и лекарственные грибы, *Pleurotus spp.*, аккумуляция, эссенциальные элементы.