

М.Д. КУЧМА¹, Г.А. ГРОДЗИНСЬКА²

¹ Всеукраїнський НДІ цивільного захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру МНС України
вул. Генерала Наумова, 13, Київ, 03164, Україна

² Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України
вул. Терещенківська, 2, Київ, 01601, Україна

НАКОПИЧЕННЯ ¹³⁷Cs ТА ⁹⁰Sr ДИКОРОСЛИМИ ТА КУЛЬТИВОВАНИМИ ЛІГНОТРОФНИМИ МАКРОМІЦЕТАМИ

Ключові слова: лігнотрофні макроміцети, культивування, накопичення, активність радіонукліда, субстрат.

Гриби (макро- і мікроміцети) є екологічно важливою групою біоти, залученою до процесів міграції і перерозподілу радіонуклідів у навколишньому середовищі. Відомо, що гриби накопичують значно більше ¹³⁷Cs, ніж інші компоненти лісових екосистем [9, 13, 15, 16]. Рівні радіаційного забруднення макроміцетів часто більші за рівні забруднення лісової підстилки, яка упродовж всього післячорнобильського періоду є основним депо радіонуклідів і, згідно з оцінкою радіоекологів, досі містить 50–90 % їх загального запасу в ґрунті [5]. З урахуваннями того, що біомаса макроміцетів разом із міцелієм у 5 разів більша за надґрунтовий покрив [1], важливість з'ясування ролі грибного компонента у процесах трансформації та перерозподілу радіонуклідів у лісових екосистемах і залучення їх до малого біологічного кругообігу не викликає сумніву.

Екологічна належність макроміцетів впливає на рівень акумуляції ¹³⁷Cs. Має місце тенденція до збільшення його накопичення у такій послідовності: лігнотрофи → ґумусові сапротрофи → підстилкові сапротрофи → мікосимбіотрофи [2, 7, 8, 11, 12]. Більшість публікацій присвячена вмісту в грибах радіоцезію, стосовно ж інших радіонуклідів відомості поодинокі і неповні [3, 10, 14].

Матеріал і методи досліджень

Методом γ-спектрометрії та радіохімічного аналізу на основі накопичення ⁹⁰Y визначали питому активність ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr у плодових тілах і субстратах семи дикорослих і культивованих видів лігнотрофних макроміцетів: *Trametes versicolor* (L.: Fr.) Pilat., *Fomes fomentarius* (L.: Fr.) Gill., *Heterobasidium annosus* (Fr.) Bref., *Hypholoma fasciculare* (Huds.: Fr.) P. Kumm., *Lentinus edodes* (Berk.) Sing., *Piptoporus betulinus* (Bull.: Fr.) P. Karst., *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. Дикорослі зразки збирали на полігоні «Дитятки», а субстрати для вирощування відбирали на дослідному полігоні «Рудий ліс-2», характеристика яких наведена у табл. 1.

В експерименті з культивування попередньо подрібнені й зволожені субстрати стерилізували у 200 мл скляних банках при 1,5 атм упродовж 1 год.

Таблиця 1. Характеристика полігонів

Лісництво, кв.; відстань від ЧАЕС	Склад насаджень	Вік, роки	Тип лісу	Щільність забруднення, кБк/м ²
Паришівське, кв. 118, 4 км північніше	ЗДЗС2Вл2Ос	35	свіжий сосновий субір	22 200,0
Дитятківське, кв. 53, від 20 км південніше	6СЗД1Б	60	свіжий сосновий сугрудок	152,0

Посівним міцелієм, отриманим на основі чистих культур *P. ostreatus* і *L. edodes* (штами 570 і 419, *IBK*), інюкулювали деревні субстрати з додаванням 10 % житньої полови. Використану в досліді деревину модельних об'єктів (сосни, дуба, берези) відбирали в районі полігону «Рудий ліс-2», що знаходиться у 4 км на північ від ЧАЕС (Паришівське лісництво). У період розростання міцелію підтримували температуру 25–26 °С. Через 3 і 8 тижнів (відповідно, у варіантах дослідів з *P. ostreatus* та *L. edodes*) культуральні ємності переносили в освітлене приміщення, де вони знаходились до початку плодоношення при температурі 17–18 °С. Повторність дослідів була трикратною. Грибні проби вагою від 2 до 100 г містили від 3 до 30 плодових тіл. Отримані в культурі та зібрані у зоні відчуження ЧАЕС (на полігоні лісництва «Дитятки», 20 км від ЧАЕС) дикорослі лігнотрофні макроміцети очищували від часточок субстрату і ґрунтів, висушували при 40–50 °С і подрібнювали до порошокподібного стану, потім досушували при 80 °С упродовж 24 год і переносили у пластикові ємності. γ-спектрометрію проводили на приладі «Nokia», β-спектрометрію — «Quantulus» у лабораторії Чорнобильського наукового центру.

Метою роботи було вивчити особливості накопичення ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr лігнотрофними макроміцетами, що зростають на радіаційно забруднених субстратах.

Результати досліджень та їх обговорення

Отримані в експерименті в культуривування плодові тіла *P. ostreatus* і *L. edodes* продемонстрували близькі рівні накопичення ¹³⁷Cs (табл. 2, рис. 1). В обох видів максимальний коефіцієнт накопичення (Кн)¹ спостерігали на сосновому субстраті, дещо нижчим він був на деревині листяних порід.

Коефіцієнт накопичення (Кн)² для радіостронцію нижчий за аналогічний показник для радіоцезію (табл. 2). Водночас звертає на себе увагу той факт, що Кп для радіостронцію здебільшого вищий за такий для радіоцезію, що відповідає загальній тенденції зростання Кп в усіх компонентах фітомаси лісових екосистем [9].

¹ Співвідношення питомої активності радіонукліда у грибному зразку до активності його у ґрунті чи у субстраті, Бк/кг / Бк/кг.

² Коефіцієнт переходу радіонукліда — співвідношення питомої активності радіонукліда у грибному зразку до щільності забруднення ґрунту, Бк/кг / кБк/м².

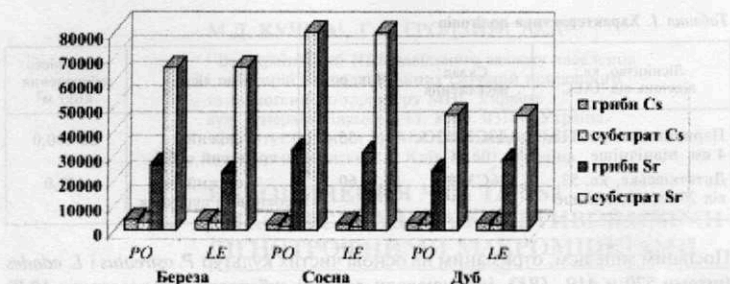


Рис. 1. Накопичення ^{137}Cs і ^{90}Sr (Бк/кг сухої ваги) культивованими видами *P. ostreatus* (PO) і *L. edodes* (LE) на деревних субстратах (березі, сосні, дубі)

Fig. 1. Accumulation of ^{137}Cs і ^{90}Sr (Bq/kg d.w.) by fruiting bodies of cultivated *P. ostreatus* (PO) and *L. edodes* (LE)

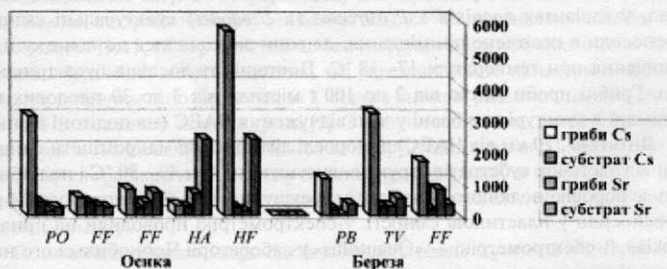


Рис. 2. Накопичення ^{137}Cs і ^{90}Sr (Бк/кг сухої ваги) дикорослими видами лігнотрофних макроміцетів: *P. ostreatus* (PO), *F. fomentarius* (FF), *H. annosus* (HA), *H. fasciculare* (HF), *P. betulinus* (PB), *T. versicolor* (TV)

Fig. 2. Accumulation of ^{137}Cs і ^{90}Sr (Bq/kg d.w.) by fruiting bodies of wild-growing lignotrophic macrofungi: *P. ostreatus* (PO), *F. fomentarius* (FF), *H. annosus* (HA), *H. fasciculare* (HF), *P. betulinus* (PB), *T. versicolor* (TV)

Слід мати на увазі, що використання Кп для аналізу накопичення радіонуклідів грибами не можна вважати повністю коректним, оскільки деревина є проміжною ланкою у переході радіоцезію і радіостронцію від ґрунту до гриба. Водночас використання одного коефіцієнта накопичення не дає повної картини залежності забруднення плодівих тіл від рівнів забруднення території.

У разі ^{90}Sr Кн зростає у такій послідовності: береза → сосна → дуб. Цікаво зазначити, що в експериментальних умовах на подрібнених і зволжених субстратах, які знаходились у культивційних ємностях, спостерігали високі рівні накопичення ^{90}Sr , що свідчить про високу потенційну здатність лігнотрофів до акумуляції цього радіонукліда. Максимальний рівень ^{90}Sr був у

Таблиця 2. Вміст ^{137}Cs і ^{90}Sr у плодкових тілах (ПТ) культивованих макроміцетів *Pleurotus ostreatus* і *Lentinus edodes*

		Показник						
Деревина	Зразок	^{137}Cs , Бк/кг сухої ваги	Кн ^{137}Cs	Кп, м ² /кг	^{90}Sr , Бк/кг сухої ваги	Кн ^{90}Sr	$^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$	Кп, м ² /кг
<i>Pleurotus ostreatus</i>								
Береза	ПТ	4212	1,31	0,19	26320	0,40	0,160	1,48
	субстрат	3209			65051		0,049	
Сосна	ПТ	2441	1,70	0,11	32251	0,41	0,076	1,81
	субстрат	1432			79451		0,018	
Дуб	ПТ	2901	1,15	0,11	24115	0,52	0,120	1,36
	субстрат	2519			46410			
<i>Lentinus edodes</i>								
Береза	ПТ	3912	1,21	0,18	23124	0,35	0,169	1,30
	субстрат	3220			65311		0,049	
Сосна	ПТ	2634	1,87	0,12	31055	0,39	0,085	1,75
	субстрат	1408			79124		0,018	
Дуб	ПТ	3141	1,39	0,16	28405	0,62	0,111	1,60
	субстрат	2255			46095		0,049	

P. ostreatus на сосновому субстраті — 32 251 Бк/кг сухої ваги, що перевищує гранично допустимий рівень цього радіонукліда в сухих грибах для України (НРБУ-97) [4] у 129 разів. Оскільки забруднений стронцієм субстрат може бути використаний у промисловому культивуванні лігнотрофних видів, слід ретельно контролювати його вміст у вихідній сировині, бо рівень забруднення грибів у цьому випадку є суттєво вищим, ніж у дикорослих видів. Це явище пояснюється його вищою біологічною доступністю, що може бути пов'язано з диспергованим станом субстрату і підвищеною вологістю порівняно з природними умовами. До того ж слід враховувати, що у деревах радіоцезій накопичується головним чином у молодих, фізіологічно активних частинах, що швидко ростуть, а радіостронцій — переважно у механічних тканинах.

Порівняння з даними стосовно дикорослих лігнотрофних макроміцетів (табл. 3, рис. 2) свідчить про те, що коефіцієнти накопичення ^{137}Cs у природних умовах були вищими, ніж у культурі: від 1,2 до 10,9. Водночас Кн ^{90}Sr відрізнялися незначно — від 0,35 до 0,62 (у культурі) та 0,1–2,3 (у природі).

Слід зазначити, що співвідношення $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ у грибах, що зростали у природних умовах, становило від 0,5 до 37 (в середньому — 13,7) і було на три порядки вищим, ніж в експерименті з культивування — від 0,085 до 0,169 (у середньому — 0,120). Цей факт підтверджує селективну здатність до накопичення радіоцезію, загалом властиву і для інших видів грибів.

Таблиця 3. Вміст ^{137}Cs і ^{90}Sr у плодівих тілах дикорослих лігнотрофних макроміцетів (Дитяківське лісництво, зона відчуження ЧАЕС)

		Показник						
Деревина	Зразок	^{137}Cs , Бк/кг сухої ваги	Кп ^{137}Cs	Кп ^{137}Cs	^{90}Sr , Бк/кг сухої ваги	Кп ^{90}Sr	Кп ^{90}Sr	$^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$
<i>Corylus versicolor</i>								
Береза	ПТ	3170	10,9	20,9	288	0,5	5,2	11,0
	субстрат	290		1,9	538		97,8	0,5
<i>Piptoporus betulinus</i>								
Береза	ПТ	1146	5,3	7,6	36	0,1	0,7	31,8
	субстрат	216		1,4	353		6,4	0,6
<i>Fomes fomentarius</i>								
Береза	ПТ	1680	7,8	11,1	815	2,3	14,7	2,1
	субстрат	216		1,4	353		6,4	0,6
<i>Pleurotus ostreatus</i>								
Осіка	ПТ	3079	7,3	20,3	133	0,5	2,4	23,2
	субстрат	419		2,8	250		4,5	1,7
<i>Fomes fomentarius</i>								
Осіка	ПТ	564	1,3	3,7	317	1,3	5,7	1,8
	субстрат	419		2,8	250		4,5	1,7
<i>Hypholoma fasciculare</i>								
Осіка	ПТ	5698	21,8	37,6	153	0,1	2,8	37,2
	субстрат	261		1,7	2357		42,5	0,1
<i>Heterobasidion annosus</i>								
Осіка	ПТ	312	1,2	2,1	684	0,3	12,3	0,5
	субстрат	261		1,7	2357		42,5	0,1
<i>Fomes fomentarius</i>								
Осіка	ПТ	810	3,4	5,3	403	0,6	7,3	2,0
	субстрат	236		1,6	706		12,7	0,3

Здебільшого Кп радіоцезію був вищим або близьким до Кп ^{90}Sr . Виняток є *F. fomentarius* і *H. annosus*. Цей факт може бути пов'язаний як зі значною варіабельністю вмісту радіонуклідів у грибах (понад 100 %), так і з особливостями метеорологічних умов року спостережень, що потребує подальшого вивчення.

Отримані дані свідчать про те, що вищі рівні забруднення радіостронцієм властиві саме лігнотрофним видам. Очевидно, це пов'язане насамперед з

вищим забрудненням деревини як живильного субстрату радіостронцієм, ніж радіоцезієм. Згідно з даними літератури вважалося, що у макроміцетів різних екологічних груп кількість накопиченого ^{137}Cs у середньому переважає таку ^{90}Sr у десятки і сотні разів [6]. Проте цей традиційний погляд щодо виняткової селективності грибів відносно радіоцезію у даному випадку може бути переглянутий.

У зв'язку з існуючою довгостроковою небезпекою вживання у їжу дикорослих грибів в Україні упродовж останніх років невинно зростає промислове виробництво їстівних грибів, особливо за рахунок *P. ostreatus*. З метою посилення екологічної безпеки населення, на наш погляд, необхідно ввести вибірковий контроль вмісту ^{90}Sr (незважаючи на достатню високу вартість методів визначення цього радіонукліда) у плодкових тілах грибів, що штучно культивуються і надходять у продаж навіть на територіях з низьким рівнем поверхневого забруднення.

Висновки

1. Лігнотрофні макроміцети демонструють здатність до накопичення ^{137}Cs і ^{90}Sr як у природних, так і в штучних умовах зростання.

2. Співвідношення $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ було нижчим у культивованих видів порівняно з дикорослими, що, напевне, пов'язане з більшою біологічною доступністю стронцію в умовах експерименту.

3. Зростання вмісту радіостронцію в компонентах фітомаси (зокрема, у деревині), що останніми роками спостерігається на територіях, забруднених цим радіонуклідом, неминуче призведе до підвищення його вмісту в лігнотрофних макроміцетах.

4. Доцільним є введення вибіркового контролю за плодовими тілами грибів, що культивуються на деревних субстратах, навіть на територіях з низьким рівнем поверхневого забруднення.

1. Бурова Л.Г. Экология грибов макромицетов. — М.: Наука, 1986. — 224 с.
2. Вассер С.П., Болюх В.О., Брунь Г.О. та ін. Накопичення радіонуклідів споровими рослинами і вищими грибами України / Під. ред. С.П. Вассера. — К., 1995. — 131 с.
3. Нифонтова М.Г., Алексашенко В.Н. Содержание Sr-90 Cs-134, 137 в грибах, лишайниках и мхах из ближней зоны Чернобыльской АЭС // Экология. — 1992. — № 3. — С. 26—30.
4. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) / Київ, Відділ поліграфії Українського центру держсанепідагляду МОЗ України, 1997. — 121 с.
5. Патлай И.М., Краснов В.П., Кучма М.Д. та ін. Основы лісової радіоекології. — К., Ярмак, 1999. — 252 с.
6. Федоров В.Н., Елиашевич Н.В. Аккумуляция радионуклидов в плодовых телах макромицетов // Радиационная биология. Радиоекология. — 2000. — 40, № 6. — С. 702—709.
7. Федоров В.Н., Мионов В.П., Макаревич В.И. Изучение накопления радионуклидов в плодовых телах съедобных грибов в БССР: Тез. докл. I Всесоюз. радиобиол. съезда (Москва, 21—27 авг. 1989 г.). — Пушино, 1989. — Т. 2. — С. 540—542.
8. Щелов А.И., Тихомиров Ф.А., Сидоров В.П. и др. Поступление радионуклидов в продукцию лесного хозяйства в условиях радиационного загрязнения: Тез. докл. I Всесоюз. радиобиол. съезда (Москва, 21—27 авг. 1989 г.). — Пушино, 1989. — Т. 2. — С. 555—557.

9. Шеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах. — М.: Наука, 1999. — 268 с.
10. Ban-nai T., Muramatsu Y., Yoshida S. et al. Multitracer studies on the accumulation of radionuclides in mushrooms // J. Radiat. Res. — 1997. — 38. — P. 213—218.
11. Grodzinskaya A.A., Berreck M., Haselwandter K, Wasser S.P. Radiocaesium contamination of wild-growing medicinal mushrooms in Ukraine // Int. J. Med. Mushr. — 2002. — 5, № 1. — P. 61—86.
12. Grodzinskaya A.A. Wild Growing Mushrooms of Ukraine: Radiocaesium contamination. Part 3 // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. — 2003. — 3. — P. 71—89 (англ.).
13. Johanson K.J., Nikolova I. The role of fungi in the transfer ¹³⁷Cs in the forest ecosystem // Mitt. d. Oesterr. Bodenkundl. Ges. — 1996. — H. 53. — S. 259—265.
14. Mietelski J.W., LaRosa J.L., Ghods A. ⁹⁰Sr and ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ²³⁸Pu, ²⁴¹Am in some samples of mushrooms and forest soils from Poland // J. Radioanalyt. and Nucl. Chem. — 1993. — 179. — P. 243—258.
15. Shcheglov A.I., Tikhomirov F.A., Tzvetnova O.B. et al. Biogeochemistry of radionuclides of Chernobyl fallout in forest ecosystems of the European part of the CIS // Rad. Biol. Radioecol. — 1996. — 36, № 4. — P. 469—478.
16. Yoshida S., Muramatsu Y. Determination of major and trace elements in mushroom, plant and soil samples collected from Japanese forests // Int. J. Environ. Anal. Chem. — 1997. — 67. — P. 49—58.

Рекомендує до друку

Надійшла 09.06.2004

І.О. Дудка

М.Д. Кучма¹, А.А. Гродзинська²

¹ Всеукраїнський НІІ громадянської захисти населення і територій от чрезвычайних ситуацій природного і техногенного характеру МЧС України, г. Киев
² Інститут ботаники ім. Н.Г. Холодного НАН України, г. Киев

НАКОПЛЕНИЕ ¹³⁷Cs И ⁹⁰Sr ЛИГНОТРОФНЫМИ МАКРОМИЦЕТАМИ

Методом гамма-спектрометрии и радиохимического анализа на основе аккумуляции Y-90 определяли уровни накопления ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr как дикорастущими (*C. versicolor* (Fr.) Boud. et Sing., *F. fomentarius* (L.: Fr.) Gill., *H. annosus* (Fr.) Bref., *H. fasciculare* (Huds.: Fr.) P. Kumm., *P. betulinus* (Bull.: Fr.) P. Karst, *P. ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm.), произрастающими в зоне отчуждения ЧАЭС (полигон в 20 км южнее ЧАЭС), так и культивируемыми лигнотрофными макромицетами *P. ostreatus* и *Lentinus edodes* (Berk.) Sing., выращенными на древесных субстратах с полигона «Рыжий лес-2» (4 км севернее ЧАЭС). Соотношение ¹³⁷Cs/⁹⁰Sr у культивируемых видов было в пределах от 0,085 до 0,169 (в среднем — 0,120), у дикорастущих — от 0,5 до 37,0 (в среднем — 13,7). Более высокие уровни загрязнения культивируемых лигнотрофов радиостронием очевидно связаны с его большей биологической доступностью на диспергированных и сильно увлажненных субстратах. Максимальный уровень ⁹⁰Sr был отмечен у *P. ostreatus* на сосновом субстрате — 32 251 Бк/кг сухого веса. Наблюдаемое в последние годы на загрязненных радиостронием территориях повышение его содержания в древесине неминуемо повлечет за собой увеличение его активности в лигнотрофных макромицетах. С целью усиления экологической безопасности населения рекомендован избирательный контроль содержания ⁹⁰Sr в плодовых телах культивируемых лигнотрофных видов грибов даже на территориях с низким уровнем поверхностного загрязнения.

¹ All-Ukrainian Research Institute of population and territory civil defense from technological and natural emergencies, Emergencies Ministry of Ukraine, Kyiv

² M.G. Kholodny Institut of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

ACCUMULATION OF ¹³⁷Cs AND ⁹⁰Sr IN WILD-GROWING AND CULTIVATED LIGNOTROPH MACROMYCETES

Levels of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr accumulation in wild lygnotrophic macromycetes (*Coriolus versicolor* (Fr.) Bound. et Sing., *Fomes fomentarius* (L.: Fr.) Gill., *Heterobasidion annosus* (Fr.) Bref., *Hypholoma fasciculare* (Huds.: Fr.) P. Kumm., *Piptoporus betulinus* (Bull.: Fr.) P. Karst., *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm.) that grew in the Exclusion Zone (the area of sampling 20 km to the south of Chornobyl NPP) and in the cultivated *P. ostreatus* and *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. that were artificially grown on the wood substrates on the territory of the sampling area «Red forest-2» (4 km to the north of ChNPP) were measured by the gamma-spectrometry techniques and by means of radiochemical analysis on the basis ⁹⁰Y accumulation. In the cultivated species the ratio of ¹³⁷Cs/⁹⁰Sr was in the range of 0,085 to 0,169 (average of 0,120) while in the wild growing ones — 0,5 to 37,0 (average — 13,7). It appears that higher levels of the cultivated lygnotrophs contamination with radiostrontium is associated with its higher biological availability in dispersed and watered substrates. The maximum level of ⁹⁰Sr observed in *P. ostreatus* on the pine substrate was 32251 Bk/kg d.w. Some increase in its content in woods observed during last years on territories contaminated with radioactive Sr will inevitably cause its content increase in lygnotrophic macromycetes. In order to promote the ecological safety, the selective monitoring of ⁹⁰Sr content in fruiting bodies of cultivated lygnotroph species even on territories with a low surface contamination is strongly recommended.