

УДК 634.0:539.1.04

М. М. Вінічук, М. Й. Долгілевич

АКУМУЛЯЦІЯ ЦЕЗІЮ ТА КАЛІЮ В РИЗОСФЕРІ ЛІСОВИХ ҐРУНТІВ

Житомирський державний технологічний університет

Спостерігається тенденція до підвищення вмісту цезію в ризосфері (ризосфері) в порівнянні з умістом даного елемента у загальній біомасі ґрунту та ризоплані (дрібні корені рослин). Між умістом цезію в ризосфері та величиною кислотності ґрунту існує слабкий ($r = 0,50$) позитивний кореляційний зв'язок. Між умістом цезію в ризоплані та величиною кислотності ґрунту кореляція взагалі відсутня ($r = -0,12$). Концентрація калію зростає в такому порядку: загальна маса ґрунту > ризосфера > ризоплан. Уміст калію у ризосфері досить добре корелює з умістом цезію ($r = -0,82$). У ризоплані було встановлено лише слабкий кореляційний зв'язок ($r = 0,31$) між згаданими двома елементами.

Ключові слова: калій, цезій, лісовий ґрунт, ризосфера, ризоплан, загальна маса ґрунту.

M. M. Vinichuk, M. I. Dolgilevich

Zytomir State Technology University

ACCUMULATION OF POTASSIUM AND CAESIUM IN RHIZOSPHERE OF FOREST SOILS

Concentration of caesium was found higher in rhizosphere compared to a bulk soil and soil-root interface. There is correlation between caesium concentration in rhizosphere and pH of soil. No correlation was found between caesium concentrations in soil-root interface and pH. Potassium concentration increases in the order: bulk soil > rhizosphere > soil-root interface. Potassium content in rhizosphere correlates well ($r = -0,82$) with caesium content. Only weak correlation was found between potassium and caesium content in soil-root interface. No correlation between mentioned elements might evidence about different mechanisms uptake.

Keywords: potassium, caesium, forest soil, rhizosphere, bulk soil, soil-root interface.

Цезій належить до елементів першої групи – лужні метали. Він є хімічним аналогом калію, який, будучи біогенним елементом, бере участь у багатьох фундаментальних клітинних процесах, включаючи ензимний гомеостаз та осморегуляцію. Роль цезію в рослинах остаточно не встановлена, але даний елемент представляє інтерес щодо надходження радіоактивного цезію. Надходження калію і цезію із ґрунту в рослини обумовлюється властивостями як ґрунту, так і рослин. Лужні метали калій і цезій розглядаються разом, оскільки ці елементи близькі за хімічними характеристиками і відповідно за їх функціями в ґрунті та рослинах. Іон цезію має слабку тенденцію до гідратації, а радіус іону цезію $1,69 \text{ \AA}$ досить добре збігається з розміром гексагональних просторів, що формуються атомами кисню на поверхні кристалічної решітки глинистих мінералів. Іон калію має подібні характеристики, але радіус його дещо менший – $1,33 \text{ \AA}$, у силу чого йон калію дещо слабше фіксується мінералами, ніж іон цезію.

Унаслідок цього моновалентні катіони цезію у порівнянні з калієм сильніше абсорбуються глинистими мінералами (*Brouwer et al.*, 1983). Відсутність зв'язків між

активністю радіоцезію і вмістом калію в плодових тілах грибів може свідчити про різні механізми надходження даних елементів у гриби (Yoshida, Muramatsu, 1998).

Ризосфера як шар ґрунту, що прилягає безпосередньо до коренів і кореневих волосків рослин, характеризується високим рівнем біологічної активності, обумовленої як виділеннями коренями органічних речовин різної природи, так і наявністю гіф мікоризних грибів і високою активністю тут мікроорганізмів. За своїми фізичними, хімічними і біологічними властивостями ризосфера різко відрізняється від ґрунту, віддаленого від коренів рослин. Виснаження запасів доступного калію та цезію рослинами в ризосфері сприяє вивільненню необхідного калію і цезію з кристалічних ґрат глинистих мінералів (Hinsinger, Jaillard, 1993). Разом з тим, незважаючи на те що симбіозна мікоризна інфекція сприяє росту рослин (Hinsinger, Jaillard, 1993), такий ефект не є універсальним, оскільки мікориза й інші організми ризосфери можуть справляти також і негативний вплив на поглинання рослинами окремих елементів живлення (Kothari et al., 1990).

У даній роботі проаналізовано вміст цезію та калію в складових верхнього (0–5 см) шару лісового ґрунту. Зокрема, визначено вміст цезію та калію в загальній масі ґрунту (лісовий ґрунт без коренів вищих рослин), у ризосфері (шар ґрунту 2–5 мм, що прилягає до коренів і кореневих волосків рослин) та ризоплані (частинки ґрунту, що безпосередньо прилягають до поверхні коренів).

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводились у лісових екосистемах центральної Швеції протягом 2000–2003 рр. Основними типами ґрунтів дослідної ділянки (за класифікацією, наведеною у посібнику *Word Reference Base ...* (1998), були *Regosol*, *Gleysol Cambisol* та *Leptosol*. Уміст органічної речовини становив 36–98 % для шару ґрунту 0–5 см та 21–97 % – для шару ґрунту 5–10 см. *pH* ґрунту – 3,8–6,9 для шару 0–5 см та 3,6–7,1 – для шару ґрунту 5–10 см. За даними, наведеними Fawaris та Johanson (1994), загальний вміст кальцію та калію в даних ґрунтах знаходиться в межах 0,51–0,66 та 1,69–2,61 мг/г ґрунту, а обмінних форм 0,37–0,46 та 1,21–1,85 мг/г ґрунту відповідно. У насадженнях переважали ялина (*Picea abies*) та сосна (*Pinus sylvestris*) з домішками берези (*Betula pubescens*), ліщини (*Corylus avellana*) та горобини (*Sorbus aucuparia*). Вік деревостанів 70–90 років. У надґрунтовому покриві переважали чорниця (*Vaccinium myrtillus*), мати-й-мачуха (*Tussilago farfara*) та хвощ (*Equisetum sylvaticum*). На поверхні зустрічаються плями моху.

Зразки ґрунту відбирались за допомогою металічного бура діаметром 5,8 см до глибини 5 см у чотирьох повторностях на площі ~ 10 м². Були відібрані зразки ґрунту у шести місцях. Відібрані зразки ґрунту були розділені на фракції: загальна маса ґрунту, ризосфера та ризоплан.

Спочатку із загального об'єму ґрунту були видалені великі корені рослин, каміння та рослинні залишки. Після цього ґрунт був просіяний через сито з отворами 2 мм. Даний зразок (фракція ґрунту з розміром менше 2 мм) умовно було прийнято як загальна маса ґрунту. Наступна фракція ґрунту – ризосфера – була одержана шляхом відділення вручну часток ґрунту, асоційованого з дрібними та середнього розміру коренями. Фракція ґрунту, що залишилась після цього (переважно невеликі корені рослин), одержала назву «ризоплан». Зразки ґрунту були проаналізовані відповідно до методики (Nikolova et al., 2000).

Уміст цезію та калію визначали за допомогою мас-спектрометра (ICP–SMS) за методом *Analytica AB*. Коефіцієнти накопичення калію та цезію визначали як відношення вмісту даних елементів у ризосфері до вмісту у ґрунті або відношення їх вмісту в ризоплані до вмісту в ризосфері.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Дані вмісту калію та цезію в загальній масі ґрунту, ризосфері та ризоплані наведені в табл. 1 та 2. У таблицях наведені як середні, так і медіанні значення вмісту досліджуваних елементів. З огляду на значну варіацію значень вмісту цезію та калію в межах досліджуваних місць відбору зразків медіанні значення краще відображають

уміст даних елементів. Установлено, що вміст цезію (медіанні значення) був найвищим у ризосфері (0,32 мг·кг⁻¹). У загальній масі ґрунту вміст цезію був на рівні 0,25 мг·кг⁻¹, а в ризоплані – 0,20 мг·кг⁻¹ (табл. 2).

Таблиця 1

Уміст цезію та калію (мг·кг ⁻¹) та коефіцієнт накопичення (КН, мг·кг ⁻¹ у ризосфері / мг·кг ⁻¹ у загальній масі ґрунту)			
Місця відбору зразків	Загальна маса ґрунту	Ризосфера	КН
Ц е з і й			
1	0,683	0,85	1,24
2	0,299	0,539	1,80
3	0,402	0,410	1,02
4	0,207	0,141	0,68
5	0,097	0,048	0,49
6	0,186	0,238	1,28
Середнє	0,31	0,37	1,09
Медіана	0,25	0,32	1,13
Ст. відхилення	0,21	0,29	0,47
К а л і й			
1	745	1490	2,00
2	370	839	2,27
3	429	752	1,75
4	719	896	1,25
5	528	647	1,23
6	485	772	1,59
Середнє	546,0	899,3	1,68
Медіана	506,5	805,5	1,67
Ст. відхилення	153,8	301,4	0,41

Згідно з одержаними даними спостерігається тенденція до накопичення цезію в ризосфері. Так, у місцях відбору 1, 2 та 6 (табл. 1) вміст цезію в ризосфері був вищим порівняно з його вмістом у загальній масі ґрунту, про що свідчать коефіцієнти накопичення – 1,24; 1,8 та 1,28 відповідно. У місці відбору 3 коефіцієнт накопичення (КН) був близьким до одиниці, а у місцях відбору 4 та 5 менше одиниці. Разом з тим унаслідок високої варіації значень у межах досліджуваних місць відбору така різниця не є достовірною. У ризоплані (переважно невеликі корені рослин з частинками ґрунту, що безпосередньо прилягають до поверхні коренів) вміст цезію для більшості місць відбору зразків виявився нижчим порівняно зі вмістом його у загальній масі ґрунту та ризосфері, про що свідчать коефіцієнти накопичення (табл. 2). З огляду на наведене вище можна констатувати, що спостерігається тенденція до підвищення вмісту цезію в ризосередовищі (ризосфері) у порівнянні з вмістом даного елемента у загальній масі ґрунту та у ризоплані (невеликі корені рослин та частинки ґрунту).

Було встановлено, що між вмістом цезію в ризосфері та величиною кислотності ґрунту існує слабкий ($r = 0,50$) позитивний кореляційний зв'язок. Між вмістом цезію в ризоплані та величиною кислотності ґрунту згідно з одержаними даними кореляція взагалі відсутня ($r = -0,12$).

Уміст калію в досліджуваних зразках був на декілька порядків вищим порівняно з вмістом цезію. Найвищий вміст калію був виявлений у ризоплані – 3280 мг·кг⁻¹. Концентрація калію в загальній масі лісового ґрунту була близькою до концентрації в ризосфері. Медіанні значення були 506 та 805 мг·кг⁻¹ відповідно.

Таблиця 2

**Уміст цезію та калію (мг·кг⁻¹) та коефіцієнт накопичення
(КН, мг·кг⁻¹ у ризоплані / мг·кг⁻¹ у ризосфері)**

Місяця відбору зразків	Ризосфера	Ризоплан	КН
	Цезій		
1	0,85	0,231	0,27
2	0,539	0,208	0,39
3	0,410	0,239	0,58
4	0,141	0,180	1,28
5	0,048	0,089	1,85
6	0,238	0,198	0,83
Середнє	0,37	0,19	0,87
Медіана	0,32	0,20	0,71
Ст. відхилення	0,29	0,05	0,60
	Калій		
1	1490	4240	2,85
2	839	3330	3,97
3	752	3230	4,30
4	896	3860	4,31
5	647	2790	4,31
6	772	1840	2,38
Середнє	899,3	3215,0	3,69
Медіана	805,5	3280,0	4,13
Ст. відхилення	301,4	842,8	0,85

У середньому, як свідчать коефіцієнти накопичення, у ризосередовищі міститься в 1,7 рази більше калію, ніж у загальній масі лісового ґрунту. У свою чергу, у ризоплані вміст калію приблизно в 4 рази вищий, ніж у ризосфері. У цілому концентрація калію зростає в такому порядку:

загальна маса ґрунту > ризосфера > ризоплан.

Високий вміст калію в ризосфері, очевидно, обумовлюється високим рівнем біологічної активності, іонообмінними процесами, процесами поглинання, наявністю гіф мікоризних грибів та скупченням мікроорганізмів.

Між умістом калію в ризосфері та величиною кислотності ґрунту існує дуже слабкий ($r = 0,30$) позитивний кореляційний зв'язок. Таку саму залежність було виявлено між величиною кислотності ґрунту та вмістом калію в ризоплані.

Установлено, що вміст калію у ризосфері досить добре корелює з умістом цезію ($r = -0,82$). У ризоплані лише слабкий кореляційний зв'язок ($r = 0,31$) було встановлено між згаданими двома елементами. Незважаючи на подібність калію та цезію, про що йшлося раніше, відсутність тісної кореляції між згаданими елементами може свідчити про різні механізми надходження їх у рослини. Відсутність зв'язків при надходженні даних елементів у плодові тіла грибів підтверджується й іншими дослідженнями (Ismail, 1994; Yoshida, Muramatsu, 1998).

ВИСНОВКИ

Спостерігається тенденція до підвищення вмісту цезію в ризосередовищі (ризосфера) у порівнянні з умістом даного елемента у загальній біомасі ґрунту та ризоплані (дрібні корені рослин). Між умістом цезію в ризосфері та величиною кислотності ґрунту існує слабкий ($r = 0,50$) позитивний кореляційний зв'язок. Між умістом цезію в ризоплані та величиною кислотності ґрунту кореляція взагалі відсутня ($r = -0,12$). Концентрація калію зростає в такому порядку: загальна маса ґрунту > ризосфера > ризоплан. Уміст калію у ризосфері досить добре корелює з умістом

цезію ($r = -0,82$). У ризоплані лише слабкий кореляційний зв'язок ($r = 0,31$) було встановлено між згаданими двома елементами. Відсутність тісної кореляції між згаданими елементами може свідчити про різні механізми надходження їх у рослини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Brouwer E., Baeyens, B., Maes A.** Cesium and rubidium ion equilibria in illite clay // Journal of Physical Chemistry. – 1983. – № 87. – P. 1213-1219.
- Fawaris B. H., Johanson K. J.** Radiocaesium in soil and plants in a forest in central Sweden // The Science of the Total Environment. – 1994. – № 157. – P. 133-138.
- Hinsinger P., Jaillard B.** Root-induced release of interlayer potassium and vermiculization of phlogopite as related to potassium depletion in the rhizosphere of raygrass // Journal of Soil Science. – 1993. – № 44. – P. 525-534.
- Ismail S. S.** Distribution of Na, K, Rb, Cs and ^{137}Cs in some Austrian higher fungi // Biological Trace Element Research. – 1994. – № 43 (5). – P. 707-714.
- Kothari S. K., Marschner H., Römheld, V.** Direct and indirect effects of VA mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on acquisition of mineral nutrients by maize (*Zea mays* L.) in a calcareous soil // The New Phytologist. – 1990. – № 116. – P. 637-645.
- Nikolova I., Johanson K. J., Clegg S.** The accumulation of ^{137}Cs in the biological compartment of forest soils // Journal of Environmental Radioactivity. – 2000. – № 47. – P. 319-326.
- Word** Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports 84. Food and Agriculture Organization of United Nations. – Rome. – 1998. – 88 p.
- Yoshida S., Muramatsu Y.** Concentration of Alkali and Alkaline earth Elements in Mushrooms and Plants collected in a Japanese Pine Forest, and Their Relationship with ^{137}Cs // Journal of Environmental Radioactivity. – 1998. – № 41 (2). – P. 183-205.

Надійшла до редколегії 24.07.05