

РОЗДІЛ I

Ботаніка

УДК 581.17; 581.557.24

Михайло Вінічук

Інокуляція ґрунту арбускулярним мікоризним грибом *Glomus mosseae* та її вплив на перехід радіоцезію з ґрунту в рослини хіноа (*Chenopodium Quinoa Willd*)

Наведено результати впливу передпосівної інокуляції торф'яного, супіщаного, середньосуглинкового та глинистого ґрунтів арбускулярним мікоризним (АМ) грибом *Glomus* під час вирощування рослин хіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) в умовах вегетаційного досліду на продуктивність рослин, питому активність радіоцезію в плодах (насіння) і наземних вегетативних органах (листя, стебла та суцвіття), а також на величини коефіцієнтів накопичення радіонукліду рослинами. Урожай насіння в рослин інокульованого середньосуглинкового ґрунту (АМ+) виявився в шість разів, а врожай вегетативних органів – утричі вищим, порівняно з рослинами контрольного варіанта. При вирощуванні рослин на супіщаному ґрунті у варіанті (АМ+) уміст радіоцезію в насінні в 3,5 раза, а в листках, стеблах і суцвіттях – майже в п'ять разів перевищував питому активність радіонукліду в рослинах контрольного варіанта, тоді як коефіцієнти накопичення радіоцезію (КН ^{137}Cs) рослинами на інокульованому супіщаному (АМ+) ґрунті в три й чотири рази перевищували значення КН ^{137}Cs для рослин контрольного варіанта для насіння та надземних органів. Хоча прямих доказів наявності мікоризної інфекції бічних коренів рослин хіноа не підтверджено, вважається, що присутність грибів у попередньо стерилізованому й інокульованому ґрунті сприяла вивільненню з ґрунту й, відповідно, посиленню надходження до рослин як поживних речовин, так і радіоцезію.

Ключові слова: арбускулярні мікоризні гриби, ґрунт, інокуляція, хіноа, радіоцезій.

Постановка наукової проблеми та її значення. Відомо, що ектомікоризні гриби активно акумулюють радіонукліди, зокрема ^{137}Cs [9, 10], і можуть накопичувати його у своїх тілах на порядки більше, ніж рослини, що зростають у тих самих біотопах [10]. На відміну від ектомікоризних грибів, радіоекологічні функції ендомікоризи або арбускулярно-везикулярної мікоризи (АМ), яка вважається найбільш древньою та найпоширенішою формою симбіозу рослин із мікроорганізмами, досліджено недостатньо [1].

Аналіз досліджень цієї проблеми. Результати досліджень щодо радіоекологічних функцій арбускулярних мікоризних грибів та можливості використання останніх задля фіторемедіації ґрунтів, забруднених радіонуклідами, є неоднозначними, а часто навіть суперечливими [10, 11]. Можливості використання АМ грибів із метою фіторемедіації забруднених радіонуклідами ґрунтів остаточно не встановлені й потребують подальших досліджень. У цій роботі нами експериментально перевірено гіпотезу про те, чи можуть арбускулярні мікоризні гриби використовуватись із метою фіторемедіації забруднених радіоцезієм ґрунтів.

Хіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) – один зі 150 видів роду Лобода (*Chenopodium* L.), що належать до родини *Chenopodiaceae* [3, 7] і поширені в Європі та на більшій частині Азії. Хіноа має пряме розгалужене стебло висотою 30–120 см, листки – чергові, суцвіття – квітки, зібрані в колосоподібні суцвіття, корінь – розгалужений, стрижневий. Це здебільшого однорічні трави, що зростають на полях та перелогах як бур'яни. В аридних регіонах представники роду *Chenopodium* мають значення як кормові рослини, молоді листки низки видів місцеве населення деяких країн уживає замість шпинату [2]. Недавно показано, що через якість білка, уміст якого – 15 %, збалансований склад амінокислот, мінералів і вітамінів, а також уміст таких сполук, як поліфеноли, фітостероли та флавоноїди, та за вмістом жирних кислот омега-6 і вітаміну Е хіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) може розглядатися як

повноцінна продовольча культура [4]. Результати випробувань екстрактів цієї рослини на антиоксидантну активність засвідчили, що насіння хіноа може використовуватися як оздоровчий інгредієнт [8].

Інтерес до цієї рослини з погляду радіоекології викликаний тим, що з-поміж інших видів хіноа ефективно акумулює радіоцезій, чим заслуговує на увагу як культура, потенційно придатна для використання з метою фітореємедіації забруднених радіонуклідами земель. Як показано Broadley and Willey [6], із-поміж 30 видів, що належать до родин *Chenopodiaceae* і *Poaceae*, концентрація радіоцезію у швидкоростучій хіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) була найвищою й у 20 разів перевищувала концентрацію радіонукліду в рослинах клсерії великоквіткової (*Koeleria macrantha* (Ledeb.)), де вона виявилася найнижчою. За загальним умістом радіонукліду у фітомасі цих рослин різниця між згаданими видами становила 100. Також показано, що у видів, які належать до родин *Chenopodiaceae*, дискримінація між Rb та Cs при надходженні їх у рослини приблизно в дев'ять разів слабша, ніж у видів, що належать до родини *Poaceae*.

Мета й завдання дослідження. Мета роботи – установити, яким чином інокуляція ґрунту штамом арбускулярного мікоризного гриба *Glomus mosseae* впливає на рівень накопичення радіоцезію в насінні, листі та стеблах рослин хіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) під час їх вирощування на торф'яному, супіщаному, середньосуглинковому й глинистому ґрунтах в умовах вегетаційного досліду. **Завдання статті** – в'яснення питання стосовно сприяння інокуляції ґрунту алохтонним штамом АМ гриба *Glomus mosseae* на посилення переходу радіоцезію з ґрунту в рослини, вирощуваних на різних ґрунтах.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Вегетаційний дослід виконували у 2008 р. на таких ґрунтах: торф'яний (уміст органічної речовини – $85,3 \pm 0,19$ %, $pH_{0,01 \text{ M CaCl}}$ $4,72 \pm 0,025$), супіщаний (уміст фракції – 0,06–2 мм $76,1 \pm 0,6$ %, $pH_{0,01 \text{ M CaCl}}$ $4,2 \pm 0,03$), середньосуглинковий (уміст фракції – 0,06–2 мм $42,3 \pm 3,6$ %, $pH_{0,01 \text{ M CaCl}}$ $4,9 \pm 0,08$) та глинистий (уміст фракції – 0,06–2 мм $13,1 \pm 0,8$ %, $pH_{0,01 \text{ M CaCl}}$ $4,8 \pm 0,01$) із різною щільністю забруднення (табл. 1; 2; 3). Схема досліду передбачала три варіанти: попередньо стерилізований та інокульований АМ грибом ґрунт (АМ+), стерилізований ґрунт (АМ-) і контроль (необроблюваний ґрунт). Повторність досліду – 5-кратна. Ґрунт перемішували й просівали через сито 2 мм. У варіанті АМ+ перед посівом у ґрунт вносили матеріал, що містить спори та гіфи АМ гриба в пропорції 1:100. У варіанті АМ ґрунт стерилізували протягом 3 год при температурі 121 °С і тиску 2 бари. Рослини хіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) вирощували в теплиці в посудинах об'ємом 4,2 дм³, добрива не використовували (рис.1). Наприкінці цвітіння – на початку фізіологічної стиглості рослини зрізували, відділяли насіння, листя й стебла висушували до постійної ваги, їх подрібнювали та проводили радіометрію. Питому активність ¹³⁷Cs у ґрунті та рослинах визначали на HPGe детекторах із перерахунком на дату відбору зразків. Коефіцієнти накопичення ¹³⁷Cs(КН) розраховували як відношення активності радіонукліду в рослині, Бк кг⁻¹ сухої ваги (с. в.) до активності ¹³⁷Cs у ґрунті, Бк кг⁻¹ с. в.

Інтенсивність мікоризної інфекції коренів інокульованих рослин визначали, занурюючи останні у 20 % розчин гідроксиду калію з наступним промиванням водопровідною водою й підкисленням 1 % соляною кислотою. Після цього коріння зафарбовували 0,05 % розчином трипанового синього в розчині: молочна кислота-гліцерин-вода (14:1:1). Інтенсивність інфекції оцінювали візуально під бінокулярним мікроскопом як 0 = немає інфекції, 1 = поодинокі інфекції, 2 = помірно інфіковані корені, 3 = сильно інфіковані корені. У дослідах використовували арбускулярний мікоризний продукт «Муко-Умррі», виробник – фірма МТТ Agrifood Research (Фінляндія), який містить спори й гіфи арбускулярного мікоризного гриба *Glomus mosseae* разом із матеріалом-носієм (субстратом) – стерилізована паром суміш торфу, піску та перліту.

Вплив передпосівної інокуляції ґрунту арбускулярним мікоризним грибом *Glomus mosseae* під час вирощування рослин хіноа в умовах вегетаційного досліду вивчали за такими показниками: продуктивність рослин (1), питома активність радіоцезію в плодах (насіння) і наземних вегетативних органах (листя, стебла та суцвіття) (2) й величинами коефіцієнтів накопичення радіонукліду насінням і вегетативними органами (3). Результати впливу передпосівної інокуляції АМ грибом на продуктивність рослин хіноа на різних ґрунтах наведено в табл. 1. Із-поміж досліджуваних ґрунтів найвищі значення продуктивності рослин (насіння й надземної вегетативної маси) на контрольних варіантах спостерігали на глинистому ґрунті. На інших досліджуваних ґрунтах урожайність рослин



Рис. 1. Рослини хіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) в посудинах об'ємом 4,2 дм³

виявилась у 1,5–2 рази нижчою. Статистично значущий ефект передпосівної інокуляції ґрунту АМ грибом на величину продуктивності рослин хіноа виявлено лише на середньосуглинковому ґрунті. У мікоризних рослин дослідного варіанта (АМ+) врожай насіння виявився в шість разів, а урожай вегетативних органів – утричі вищим, порівняно з рослинами контрольного варіанта. Характерно, що продуктивність рослин, які зростали на стерилізованому (АМ⁻) ґрунті, була майже така сама, як і в рослин, вирощуваних на інокульованому (АМ+) ґрунті. Імовірно, стерилізація ґрунту сприяла додатковому вивільненню елементів живлення з біоти ґрунту, насамперед мікобіоти при дії високих температур і тиску та збільшенню їх біологічної доступності для рослин. На інших досліджуваних ґрунтах – це торф'яний, супіщаний і глинистий – ні ефекту інокуляції, ні стерилізації на величину продуктивності рослин хіноа не виявлено (табл. 1). Результати дослідження інтенсивності мікоризної інфекції бічних коренів дослідних рослин хіноа спорами АМ грибів показали, що на АМ+ варіанті на всіх досліджуваних ґрунтах спори грибів відсутні. Водночас в окремих зразках простежено напіврозкладені грибні спори й гіфи. Навіть якщо прямих доказів участі мікоризної інфекції в прирості біомаси дослідних рослин не виявлено, імовірність того, що передпосівна інокуляція ґрунту спричинила істотний багатократний приріст урожаю, на середньосуглинковому ґрунті не може виключатися [10].

У табл. 2 наведено дані питомої активності ¹³⁷Cs у рослинах хіноа, вирощуваних на інокульованому та стерилізованому ґрунтах, а також на контрольному варіанті. Питома активність ¹³⁷Cs рослин, вирощуваних на середньосуглинковому ґрунті, виявилася найвищою й коливалася від 2,7 до 5,3 для насіння та від 12,5 до 14,9 кБк кг⁻¹ с. в. – для надземних вегетативних органів. Інтенсивно надходив радіонуклід із ґрунту в рослини хіноа також при вирощуванні їх на торф'яному ґрунті, тоді як уміст радіоцезію в рослинах, вирощуваних на супіщаному й глинистому ґрунтах, був на 1–2 порядки нижчим, порівняно із середньосуглинковим. Статистично значущий ефект передпосівної інокуляції ґрунту АМ грибом на величину питомої активності ¹³⁷Cs у рослинах хіноа виявлено під час їх вирощування на супіщаному ґрунті. У насінні, листках, стеблах і суцвіттях мікоризних рослин дослідного варіанта (АМ+) уміст радіоцезію в 3,5 та 4,7 рази перевищував питому активність радіонукліду рослин контрольного варіанта. Уміст радіонукліду в рослин стерилізованого (АМ⁻) супіщаного ґрунту більш ніж удвічі перевищував його вміст у рослин контрольного варіанта. Імовірним поясненням цього, як уже зазначалося, може бути додаткове вивільнення не лише елементів живлення з біоти ґрунту, насамперед мікобіоти, а й радіонукліду, підвищуючи біологічну доступ-

ність останнього в ґрунті й, відповідно, сприяючи його переходу з ґрунту в рослину. Підвищений уміст радіонукліду в рослин АМ-варіанта простежено також під час їх вирощування на глинистому ґрунті. У рослинах, вирощуваних на торф'яному ґрунті, вплив інокуляції виявився неоднозначним: питома активність радіонукліду вегетативних органів інокульованих рослин АМ+ варіанта виявилась у 2,5 раза вищою від значень рослин контролю, тоді як відмінностей у вмісті радіонукліду в насінні між згаданими варіантами не виявлено (табл. 2). У рослини хіноа (насіння, листя, стебла й суцвіття), вирощуваних на глинистому ґрунті, впливу мікоризації на вміст радіонукліду також не встановлено.

Результати впливу передпосівної інокуляції ґрунту на перехід ^{137}Cs із ґрунту в рослини хіноа оцінювались із допомогою коефіцієнтів накопичення радіонукліду (табл. 3). Як очевидно з даних таблиці, найвищі значення КН ^{137}Cs – у досліді з торф'яним ґрунтом. На обох (АМ+ та АМ-) дослідних варіантах значення КН радіоцезію перевищували 1 для насіння та 3 – для вегетативних органів. Мінеральні ґрунти в міру зниження величин накопичення радіонукліду рослинами хіноа можна розмістити в такому порядку: супіщаний > середньосуглинковий > глинистий. Величини коефіцієнтів накопичення радіонукліду наземними вегетативними органами (листя, стебла й суцвіття) у 2–3 рази перевищували аналогічні величини для насіння. Перехід радіоцезію з ґрунту в рослини на інокульованому супіщаному ґрунті (АМ+) у 3 та 4 рази перевищував значення КН ^{137}Cs для рослин контрольного варіанта, відповідно, для насіння й надземних органів (табл. 3). Різниця у величинах КН ^{137}Cs інокульованих і контрольних рослин на торф'яному ґрунті була дещо меншою, та все ж помітною: у насіння рослини варіанта АМ+ радіонукліду надійшло в 1,4 раза, а у вегетативні органи – у 3,6 раза більше, порівняно з контрольним варіантом. На середньосуглинковому ґрунті в насіння інокульованих рослин хіноа радіонукліду надійшло майже у два рази, а у вегетативні органи – в 1,2 раза більше, порівняно з контрольним варіантом. Різниця у величинах КН ^{137}Cs між інокульованими й контрольними рослинами, вирощуваними на глинистому ґрунті, не виявлено (табл. 3).

Таблиця 1

Вплив передпосівної інокуляції ґрунту арбускулярним мікоризним грибом *Glomus mosseae* на продуктивність рослин хіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) на різних ґрунтах, z / *посудину*, с. в., ($M \pm SD$), $n=5$

Варіант досліді	Насіння	Листя, стебла та суцвіття
Торф'яний ґрунт¹⁾		
АМ+	5,00±2,97	15,9±2,80
АМ-	3,50±2,65	18,2±1,84
Контроль ²⁾	5,10±1,36	15,9±0,80
Супіщаний ґрунт¹⁾		
АМ+	2,49±0,85	5,50±0,82
АМ-	2,31±0,97	6,00±3,06
Контроль ²⁾	2,57±0,11	6,97±0,01
Середньосуглинковий ґрунт¹⁾		
АМ+	17,8±6,26	46,0±4,04
АМ-	15,7±6,39	43,9±4,68
Контроль ²⁾	2,80±0,52**	15,3±1,65***
Глинистий ґрунт¹⁾		
АМ+	9,34±5,36	26,7±4,15
АМ-	5,16±4,32	14,9±7,39
Контроль ³⁾	7,85	25,3

Примітка. ¹⁾Щільність забруднення за ^{137}Cs : торф'яний ґрунт – 22,7±2,8кБк / м²; супіщаний ґрунт – 8,0±0,1 кБк / м²; середньосуглинковий ґрунт – 456,5±1,7 кБк / м²; глинистий ґрунт – 5,1±0,1 кБк / м²; ²⁾n=2; ³⁾n=1. **p < 0,01, ***p < 0,001.

Таблиця 2

Вплив передпосівної інокуляції ґрунту арбускулярним мікоризним грибом *Glomus mosseae* на питому активність ^{137}Cs рослин хіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) на різних ґрунтах, кБк кг^{-1} с.в., ($M \pm SD$), $n=5$

Варіант досліджу	Насіння	Листя, стебла та суцвіття
Торф'яний ґрунт¹⁾		
АМ+	1,14±1,06	3,31±3,03
АМ-	1,09±0,59	2,89±0,97
Контроль ²⁾	1,08±0,17	1,31±0,69
Супіщаний ґрунт¹⁾		
АМ+	0,25±0,13	0,903±0,445
АМ-	0,16±0,09	0,465±0,258
Контроль ²⁾	0,070±0,027*	0,188±0,011*
Середньосуглинковий ґрунт¹⁾		
АМ+	5,28±1,22	14,9±2,81
АМ-	3,97±1,12	14,9±3,58
Контроль ²⁾	2,71±0,79*	12,5±0,63
Глинистий ґрунт¹⁾		
АМ+	0,043±0,030	0,062±0,027
АМ-	0,063±0,048	0,093±0,039
Контроль ³⁾	0,038	0,068

Примітка.¹⁾Щільність забруднення за ^{137}Cs : торф'яний ґрунт – 22,7±2,8 кБк / м^2 ; супіщаний ґрунт – 8,0±0,1 кБк / м^2 ; середньосуглинковий ґрунт – 456,5±1,7 кБк / м^2 ; глинистий ґрунт – 5,1±0,1 кБк / м^2 ; ²⁾n=2; ³⁾n=1. *p < 0,05.

Таблиця 3

Вплив передпосівної інокуляції ґрунту арбускулярним мікоризним грибом *Glomus mosseae* на перехід ^{137}Cs із ґрунту в рослини хіноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) на різних ґрунтах, ($M \pm SD$), $n=5$

Варіант досліджу	Насіння	Листя, стебла та суцвіття
Торф'яний ґрунт¹⁾		
АМ+	1,37±1,32	3,99±3,91
АМ-	1,14±0,62	3,03±0,99
Контроль ²⁾	0,933±0,023	1,10±0,45
Супіщаний ґрунт¹⁾		
АМ+	0,388±0,218	1,42±0,75
АМ-	0,263±0,146	0,768±0,497
Контроль ²⁾	0,123±0,041	0,332±0,003*
Середньосуглинковий ґрунт¹⁾		
АМ+	0,131±0,029	0,373±0,069
АМ-	0,094±0,026	0,351±0,071
Контроль ²⁾	0,067±0,019*	0,308±0,021
Глинистий ґрунт¹⁾		
АМ+	0,090±0,060	0,135±0,068
АМ-	0,096±0,066	0,154±0,052
Контроль ³⁾	0,097	0,179

Примітка.¹⁾Щільність забруднення за ^{137}Cs : торф'яний ґрунт – 22,7±2,8 кБк / м^2 ; супіщаний ґрунт – 8,0±0,1 кБк / м^2 ; середньосуглинковий ґрунт – 456,5±1,7 кБк / м^2 ; ²⁾n=2; ³⁾n=1. *p < 0,05; *p < 0,05.

Висновки й перспективи подальших досліджень. Результати вимірювань величин питомої активності радіоцезію в коренях рослин хіноа, вирощуваних на середньосуглинковому ґрунті, показують, що КН ^{137}Cs для коренів діаметром < 2 мм у варіанті АМ+ перевищували КН ^{137}Cs для

коренів того ж розміру на контрольному варіанті, – на 14,3%. Для коренів із діаметром 2–5 мм КН ^{137}Cs у варіанті АМ+ перевищували КН ^{137}Cs для коренів із того самого діаметра контрольного варіанта – на 81,1 % [10].

Отримані експериментальні дані свідчать про позитивний статистично значущий ефект інокуляції середньосуглинкового ґрунту АМ грибом *Glomus mosseae* на врожайність рослин хіноа, величину їхньої питомої активності та величину коефіцієнтів накопичення ^{137}Cs . Як зазначено вище, результати дослідження інтенсивності мікоризної інфекції бічних коренів дослідних рослин спорами АМ грибів засвідчили відсутність спор грибів, тому пояснити ці ефекти саме через наявність мікоризи навряд чи можливо. Уважається, що рослини хіноа зазвичай не формують мікоризи [12]. Водночас оскільки в окремих зразках простежено напіврозкладені грибні спори та гіфи, участь грибів тут є очевидною й не може виключатись. Одним із можливих пояснень ефекту інокуляції ґрунту АМ грибом може бути те, що наявність грибів у стерилізованому ґрунті могла сприяти вивільненню з ґрунту та, відповідно, посиленню надходження поживних речовин, у тому числі й радіоцезію до рослин. Адже відомо, що ектомікоризні гриби можуть сприяти розчиненню мінералів і порід, вивільняючи таким способом, наприклад, калій і фосфор [5]. Підтвердження можливої участі АМ грибів у посиленні переходу радіонукліду з ґрунту в інокульовані рослини – наявність відмінностей у величинах КН ^{137}Cs між варіантами АМ+ та АМ-. Так, у випадку середньосуглинкового ґрунту КН ^{137}Cs рослинами АМ+ варіанта були в 1,5 й 1,8 раза вищими, ніж рослинами стерилізованого (АМ-) ґрунту, відповідно, для насіння й вегетативних надземних органів (табл. 3). Іншим непрямим підтвердженням участі грибів у посиленні переходу радіоцезію з ґрунту в рослини інокульованого ґрунту є відмінність у рівнях питомої активності радіонукліду на супіщаному ґрунті: уміст ^{137}Cs у рослинах АМ+ варіанта перевищував уміст радіонукліду в рослинах стерилізованого (АМ-) ґрунту – відповідно, в 1,5 та 1,9 раза для насіння й вегетативних надземних органів (табл. 2).

Ураховуючи те, що перехід радіонукліду з ґрунту в рослини хіноа на стерилізованому інокульованому ґрунті (АМ+) виявився вищим, ніж у стерилізованому без інокуляції (АМ-), а наявність мікоризи в інокульованих АМ грибом *Glomus mosseae* рослини хіноа не встановлена, варто дослідити роль АМ грибів у переході радіоцезію з ґрунту в рослини, що не формують мікоризи.

Під час дослідження ефективності передпосівної інокуляції ґрунту арбускулярним мікоризним грибом *Glomus mosseae* при вирощуванні хіноа в умовах вегетаційного досліді встановлено:

1. Статистично значущий ефект передпосівної інокуляції ґрунту АМ грибом на величину продуктивності рослин хіноа виявлено лише на середньосуглинковому ґрунті. У мікоризних рослин дослідного варіанта (АМ+) урожай насіння виявився в шість разів, а вегетативних органів – утричі вищим, порівняно з рослинами контрольного варіанта.

2. На величину питомої активності ^{137}Cs у рослинах хіноа статистично значущий ефект передпосівної інокуляції ґрунту АМ грибом виявлено при вирощуванні їх на супіщаному ґрунті. У насінні, листках, стеблах і суцвіттях мікоризних рослин дослідного варіанта (АМ+) уміст радіоцезію в 3,5 та 4,7 раза перевищував питому активність радіонукліду рослин контрольного варіанта.

3. Перехід радіоцезію з ґрунту в рослини на інокульованому супіщаному ґрунті (АМ+) у тричотири рази перевищував значення КН ^{137}Cs для рослин контрольного варіанта, відповідно, для насіння й надземних органів.

Автор висловлює подяку проф. А. Мортенссон, д-ру К. Розену та д-ру Б. Недрі за сприяння в проведенні експериментів і визначенні інтенсивності мікоризної інфекції. Фінансову підтримку проекту надано Шведським університетом сільськогосподарських наук.

Джерела та література

1. Вінчук М. М. Радіоекологічні функції арбускулярних мікоризних грибів / М. М. Вінчук // Вісник Запорізького національного університету. – Серія : Біол. науки. – 2014. – Т. 1. – С. 164–172.
2. Высочина Г. И. Флавоноиды и биологическая активность видов рода *Chenopodium* L. / Г. И. Высочина // Фитохимия. Сибирский ботанический вестник : электрон. журн. – 2008. – Т. 1. – Вып. 1–2. – С. 35–44.
3. Список видів роду Лобода [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : http://uk.wikipedia.org/wiki/Список_видів_роду_Лобода.
4. Abugoch James LEQuinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties // *Advances in Food and Nutrition Research*. – 2009. – Vol. 58(1–31). – doi: 10.1016/S1043-4526(09)58001-1.

- Alves L. Utilization of rocks and ectomycorrhizal fungi to promote growth of eucalypt / L. Alves, V. L. Oliveira, G. N. Silva Filho // *Brazilian Journal of Microbiology*. – 2010. – Vol. 41(3). – P. 676–684.
- Broadley M. R. Differences in root uptake of radiocaesium by 30 plant taxa / M. R. Broadley and N. J. Willey // *Environmental Pollution*. – 1997. – Vol. 97(1–2). – P. 11–15.
- Mabberley D. J. *The Plant-Book. A portable dictionary of the higher plants* / D. J. Mabberley. – Cambridge, 1993. – 707 p.
- Nsimba R. Y. Antioxidant activity of various extracts and fractions of *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus* spp. seeds / R. Y. Nsimba, H. Kikuzaki, Y. Konishi // *Food Chemistry*. – 2008. – Vol. 106, № 2. – P. 760–766.
- Vinichuk M. M. ^{137}Cs in fungal sporocarps in relation to vegetation in a bog, pine swamp and forest along a transect / M. M. Vinichuk, K. Rosén, A. Dahlberg // *Chemosphere*. – 2013. – Vol. 90. – P. 713–720.
- Vinichuk M. M. Effect of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on ^{137}Cs uptake by plants grown on different soils / M. M. Vinichuk, A. Mårtensson, T. Ericsson, K. Rosén // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2013a. – Vol. 115. – P. 151–156.
- Vinichuk M. Inoculation with arbuscular mycorrhizae does not improve ^{137}Cs uptake in crops grown in the Chernobyl region / M. Vinichuk, A. Mårtensson, K. Rosén // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2013b. – Vol. 126. – P. 14–19.
- Wang B. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants / B. Wang, Y.-L. Qiu // *Mycorrhiza*. – 2006. – Vol. 16. – P. 299–363.

Виничук Михаил. Инокуляция почвы арбускулярным микоризным грибом *Glomus mosseae* и ее влияние на переход радиоцезия из почвы в растения киноа (*Chenopodium quinoa* Willd.). Приведены результаты влияния предпосевной инокуляции торфяной, супесчаной, среднесуглинистой и глинистой почв арбускулярным микоризным (AM) грибом *Glomus mosseae* при выращивании растений киноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) на продуктивность растений, удельную активность радиоцезия в плодах (семена) и надземных вегетативных органах (листья, стебли и соцветия), а также на величины коэффициентов накопления радионуклида растениями. Урожай семян у растений инокулированной среднесуглинистой почвы (AM +) в 6 раз, а урожай вегетативных органов – в 3 раза превышали показатели растений контрольного варианта. При выращивании растений на супесчаной почве в варианте (AM +) содержание радиоцезия в семенах в 3,5 раза, а в листьях, стеблях и соцветиях – почти в 5 раз превышало удельную активность радионуклида в растениях контрольного варианта, тогда как коэффициенты накопления радиоцезия (КН ^{137}Cs) растениями на инокулированной супесчаной (AM +) почве в 3 и 4 раза превышали значения КН ^{137}Cs для растений контрольного варианта, соответственно, для семян и надземных органов. Хотя прямые доказательства наличия микоризной инфекции боковых корней растений киноа отсутствуют, считается, что присутствие грибов в предварительно стерилизованной и инокулированной почве способствовало высвобождению из почвы и, соответственно, усилению поступления в растения как питательных веществ, так и радиоцезия.

Ключевые слова: арбускулярные микоризные грибы, почва, инокуляция, киноа, радиоцезий.

Vinichuk Mykhailo. Soil Inoculation With Arbuscular Mycorrhizal (AM) Fungus *Glomus Mosseae* and Its Effect on Radiocesium Transfer From Soil to Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.). Plants. The effect of soil inoculation with arbuscular mycorrhizal (AM) fungus *Glomus mosseae* on quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) biomass, ^{137}Cs activity concentration in plants and ^{137}Cs uptake was investigated on organic, sandy, loamy and clay soils in a greenhouse experiment. Seeds and aboveground plant biomass of plants growing on inoculated (AM +) loamy soil was correspondingly 6 and 3 times higher than in control plants (no soil treatment). ^{137}Cs activity concentration in seeds and aboveground plants parts (leaves and stems) growing on inoculated (AM +) sandy soil was about 3.5 and 5 times higher than activity of radionuclide in control plants. Transfer factors (TF) of ^{137}Cs for seeds and aboveground plants parts growing on inoculated (AM +) sandy soil was about 3 and 4 times higher than ^{137}Cs TF for control plants. Although direct evidence of mycorrhizal infection of lateral roots of experimental quinoa plants is not confirmed, it is suggested that the presence of fungi in pre-sterilized and inoculated soil contributed to the release of nutrients as well as radiocesium from soil and enhanced its uptake by plants.

Key words: arbuscular mycorrhizal fungi, soil, inoculation, quinoa, radiocesium.

Стаття надійшла до редколегії
16.10.2015 р.