

УДК 581.17; 581.557.24

РАДИОЕКЛОГІЧНІ ФУНКЦІЇ АРБУСКУЛЯРНИХ МІКОРИЗНИХ ГРИБІВ

Вінічук М.М.

*Житомирський державний технологічний університет**10005, Україна, Житомир Черняхівського, 103**Шведський університет сільськогосподарських наук**Швеція, Уппсала, PO Box 7014, SE-750*

Mykhailo.Vinichuk@slu.se

Порівняння ефективності передпосівної інокуляції ґрунту арбускулярними мікоризними грибами *Glomus mosseae* при вирощуванні пажитниці багатоквіткової в умовах вегетаційного і польового дослідів показує відсутність стимулюючого ефекту інокуляції ґрунту на величину біомаси досліджуваних рослин. Показано, що інокуляція ґрунту арбускулярними мікоризними грибами при вирощуванні пажитниці багатоквіткової в умовах обох дослідів не впливає на рівень накопичення радіоцезію досліджуваними рослинами. Наземні частини рослин пажитниці багатоквіткової, що зростали на інокульованому АМ грибами ґрунті, мали нижчу активність радіонукліду та відповідно нижчі значення КН ^{137}Cs ніж ті, що вирощувались на контрольних варіантах в обох дослідях. Аналогічно, в умовах польового дослідів КН ^{137}Cs , для рослин дослідного варіанта, що зростали на інокульованому АМ грибами ґрунті виявились у 1,5 разу нижчими, ніж для рослин обробленого фунгіцидом ґрунту для всіх трьох укосів. Також не виявлено залежностей між величинами КН ^{137}Cs рослинами та показниками інтенсивності мікоризної інфекції кореневої системи.

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

РАДИОЭКЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ АРБУСКУЛЯРНЫХ МИКОРИЗНЫХ ГРИБОВ

Виничук М.М.

*Житомирский государственный технологический университет**10005, Украина, Житомир, Черняховского, 103**Шведский университет сельскохозяйственных наук**Швеция, Уппсала, PO Box 7014, SE-750*

Mykhailo.Vinichuk@slu.se

Сравнение эффективности предпосевной инокуляции почвы арбускулярными микоризными грибами *Glomus mosseae* при выращивании райграса однолетнего как в условиях вегетационного, так и полевого опытов, показывает отсутствие стимулирующего эффекта инокуляции почвы на величину биомассы исследуемых растений. Показано, что инокуляция почвы арбускулярными микоризными грибами при выращивании райграса однолетнего в условиях обоих опытов не влияет на уровень накопления радиоцезия исследуемыми растениями. Наземные части растений райграса однолетнего, которые произрастали на инокулированной АМ грибами почве имели низкую активность радионуклида и соответственно более низкие значения КН ^{137}Cs , чем те, что выращивались на контрольных вариантах в обоих опытах. Аналогично, в условиях полевого опыта КН ^{137}Cs для растений исследуемого варианта, выращиваемых на инокулированной АМ грибами почве, оказались в 1,5 раза ниже, чем для растений, выращиваемых на обработанной фунгицидом почве для всех трех укосов. Также не выявлено зависимостей между величинами КН ^{137}Cs растениями и показателями интенсивности микоризных инфекций корневой системы.

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

RADIOECOLOGICAL FUNCTIONS OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI

Vinichuk M.M.

*Zhytomyr State Technological University, Ukraine**10005, Ukraine, Zhytomyr, Chernyakhovsky str. 103,**Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden**Box 7014, 750 07, Uppsala, Sweden*

Mykhailo.Vinichuk@slu.se

In the frame of this study we investigated how soil inoculation with strain of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi effects the uptake of radioactive isotope ^{137}Cs by perennial ryegrass (*Lolium multiflorum*, variety 'Corvus'), when grown on soils with low-level contamination by radionuclides after an accident on Chernobyl NPP in 1986.

Another aim of the study was to elucidate whether use of allochthonous AM fungus strain in combination with a plant is suitable for the purpose of phytoremediation of soils contaminated by radionuclides.

The potential use of mycorrhiza as a bioremediation agent for soils contaminated by radiocesium was evaluated in both greenhouse (2008) and field experiments (2009-2010) on sandy soil. The greenhouse experiment comprised a block design including two treatments and five replicates: AM+ and AM-. In treatment AM+, soil was autoclaved before the experiment and then inoculated with a commercial AM fungus *Glomus mosseae*. The fungal strain had been isolated from agricultural soil in Finland and contained spores and hyphae of the arbuscular mycorrhizal fungus *G. mosseae*. In treatment AM-, soil was autoclaved but non-inoculated.

Experimental plots in field experiment were established near the settlements of Yazhberen (51°14'55" N, 29°09'25" E, site I) and Khrystynivka (51°14'14" N, 29°13'09" E, site II) in Narodychi, Zhytomyr Region, Ukraine, about 70 km Southwest of Chernobyl and a few kilometers away from the contaminated zone (Zone-1).

A randomized block design was used, which comprised three treatments: AM+, F and C. In treatment AM+, soil was inoculated with AM fungus *G. mosseae* before the experiment and in treatment F, soil was treated with fungicide: treatment C was assigned as a control and did not receive any fungicide or inoculum.

For AM fungi colonization quantification, soil samples were treated with 20% potassium hydroxide and roots were stained with 0.05% trypan blue in a 14:1:1 lactic acid:glycerol:water solution and then rinsed in a de-staining solution (14:1:1 lactic acid:glycerol:water). For examination, the roots were spread onto glass slides and the appearance of fungal infections was visually recorded under a binocular microscope.

The rate of mycorrhizal infection frequency in the roots was graded as 0 = no infection; 1 = sign of infection; 2 = moderate infection; and, 3 = abundant infection. To verify if root infection frequency was related to dry matter production and ^{137}Cs concentration ratios the rate of mycorrhizal infection frequency on the roots of experimental crop was analyzed.

It has been shown that fungi did not affect the biomass of perennial ryegrass. The comparison of the effectiveness of soil inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus mosseae* on ryegrass biomass growing in both greenhouse and field experiments showed no effect. The biomass of the studied plants only moderately depended on the intensity of mycorrhizal root infections. Soil inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi when growing ryegrass plants in both greenhouse and field experiments did not affect the level of radiocaesium uptake by experimental plants. Aboveground parts of the ryegrass plant grown on inoculated by AM fungi soil had lower activity of the radionuclide and thus lower values of ^{137}Cs TF than those grown on control treatment in both experiments. Similarly, in both greenhouse and field experiments ^{137}Cs TF to plants grown on inoculated soil were 1.5 times lower than for plants grown in soil treated with fungicide for all three cuts.

The quantification of AM fungi colonization (mycorrhizal infection frequency of plant roots) of ryegrass when grown in greenhouse experiment revealed only a single infection (1 point for 3- point scale) in 60% of the analyzed samples. The level of ^{137}Cs TF to plants and intensity of mycorrhizal infection of root system were weakly negatively related. ($r = -0,334$). In the field experiments roots of ryegrass plants appeared to be moderate (2 points for a 3- point scale) infected with AM fungi. Meanwhile, the only weak positive relationships between the magnitude of ^{137}Cs TF to plants and mycorrhizal infection intensity of roots found ($r = 0,33$). The values of the biomass of the studied plants appeared to be also negatively related on the intensity of mycorrhizal root infections: correlation coefficients between these parameters were - 0.36 and - 0.50 for greenhouse and field experiments, respectively.

Since the magnitude of biomass and ^{137}Cs TF of ryegrass plants grown on soil inoculated with AM fungi were lower than those parameters in the control plant, the total activity concentration of radioactive cesium accumulated within the biomass of experimental plants also appeared to be lower than control plants.

It is worth to mention that relatively high levels of radionuclide accumulation were observed in plants grown on sterilized soil (greenhouse experiment) and on soil treated with fungicides (field experiment). The most plausible explanation for higher values of ^{137}Cs TF for ryegrass in both cases may be that there was an additional release of radionuclide from soil biota, especially microbiota due to high temperatures and pressures and due to the action of fungicides.

One of the goals of this study was to determine how soil inoculation with strain of AM fungus *G. mosseae* when growing ryegrass in both greenhouse and field experiment affect the level of radiocesium uptake. It is known that mycorrhizal symbiosis which might be formed under greenhouse conditions not necessarily will be the same in the field, where co-colonization may exist.

In this study, a commercial inoculant *G. mosseae* was used. To achieve better results, the consideration of the edaphic origin of AM fungi might be important. Inoculation with indigenous, locally adapted AMF strains, which are better adapted to the regional edaphoclimatic conditions than nonlocal fungi, positively affect plant

production and result in a larger quantity of fungal propagules in the soil, instead of autochthonous AM fungi. This may explain why inoculation with nonlocal *G. mosseae* strain did not improve ^{137}Cs uptake in crops.

The responsiveness of host plants and AM fungus combination to ^{137}Cs uptake in both greenhouse and field experiment seems to be conditional and did not facilitate the uptake of radiocesium. Thus, the inoculation of soil with allochthonous strains of arbuscular mycorrhizal fungi for the purpose of phytoremediation of contaminated lands can not be recommended and the feasibility of the use of AM fungus *G. mosseae* for bioremediation of soil contaminated with a low concentration of ^{137}Cs could not be acknowledged.

It is also suggested, that for the purpose of phytoremediation of contaminated lands it is important to consider the origin of AM fungi since autochthonous (aboriginal) strains of fungi may be better adapted to local conditions than allochthonous ones. The experimental data obtained in this study are in a good agreement with the results of other similar studies.

Keywords: arbuscular fungi, inoculation, radiocesium, soil.

ВСТУП

Ґрунт є одним з основних джерел, із якого радіонукліди надходять до живих організмів, у тому числі й до людини. Надходження радіонуклідів із ґрунту через кореневу систему до рослин є одним з основних шляхів їх міграції та визначає масштаби включення останніх у харчові ланцюги. У ґрунтах із високим вмістом тонкодисперсних глинистих фракцій ^{137}Cs фіксується глинистими мінералами, тоді як у ґрунтах із високим вмістом органічної речовини та низьким вмістом глини доступність ^{137}Cs рослинам може бути доволі високою, оскільки органічна речовина ґрунту має лише обмежені адсорбційні властивості щодо радіоцезію. У багатих на органічну речовину верхніх шарах лісового ґрунту значна частина (до 50 %) радіоцезію може бути зосереджена в грибній біомасі, зокрема у міцелії грибів [1]. Хоча ґрунтові мікроорганізми, зокрема ектомікоризні гриби, внаслідок їх низького вмісту в лісових ґрунтах акумулюють у своїй тілах порівняно невелику частину загальної кількості радіоцезію ґрунту [2], вони активно поглинають радіонуклід і можуть накопичувати його в 270 разів більше, ніж рослини, що ростуть у тих же біотопах [3].

Радіоекологічні функції арбускулярних мікоризних (AM) грибів та можливості їх використання в цілях фіторемерації ґрунтів, забруднених радіонуклідами, також достатньо добре вивчені, але одержані результати неоднозначні, а часто навіть суперечливі. Так, у ряді робіт [4-6] показано безпосередню участь міцелію арбускулярних мікоризних грибів у транслокації радіоцезію до коренів рослин. Інокуляція арбускулярними мікоризними грибами сприяла підвищенню рівнів накопичення радіоцезію рослинами буркуну лікарського [7], райграсу пасовищного [8], та соняшника [9]. Результати інших досліджень свідчать, що AM гриби, навпаки, знижували рівні накопичення радіоцезію інокульованими рослинами [10-12].

Очевидно, що розходження у висновках щодо участі грибів арбускулярної мікоризи в процесах надходження радіонуклідів із ґрунту через кореневу систему до рослин вказує на наявність тих чи інших чинників, які здатні модифікувати кінцевий результат. Одним з можливих факторів є умови проведення експерименту. Більшість результатів досліджень отримані в умовах вегетаційних та/або лабораторних досліджень. Тим часом, симбіотичні взаємовідносини, що формуються між рослиною-господарем та штамом арбускулярних мікоризних грибів в умовах теплиці чи лабораторії, не завжди будуть залишаються такими ж в польових умовах [13]. З огляду на це метою наших досліджень було експериментально підтвердити або спростувати гіпотезу про те, що арбускулярні мікоризні гриби можуть використовуватись у цілях фіторемерації забруднених радіоцезієм ґрунтів однаково ефективно (чи неефективно) і в умовах теплиці, і в польових умовах. Можливість використання AM грибів із метою фіторемерації забруднених радіонуклідами ґрунтів остаточно не встановлена і потребує подальших досліджень.

Метою роботи було дослідження, яким чином інокуляція ґрунту штамом арбускулярного мікоризного гриба *Glomus mosseae* при вирощуванні пажитниці багатоквіткової в умовах вегетаційних і польових дослідів впливає на рівень накопичення радіоцезію досліджуваними

рослинами. Крім того, було досліджено ефективність використання алохтонного штаму АМ гриба при вирощуванні пажитниці багатоквіткової з метою підбору комбінації рослин і АМ грибів, найбільш придатних для фітореMediaції радіоактивно забруднених ґрунтів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вегетаційний дослід проводили у 2008 році на супіщаному ґрунті за схемою: інокульований АМ грибами ґрунт, стерилізований ґрунт та контроль. Повторність 5 кратна. Верхній (0-15 см) шар забрудненого після аварії на Чорнобильській АЕС ґрунту відбирали з пасовища в районі Євле, Швеція. Активність ґрунту за $^{137}\text{Cs} \approx 700 \text{ Бк кг}^{-1}$. У лабораторії ґрунт ретельно перемішували, просівали через сито 2 мм та стерилізували протягом 3-х годин при температурі 121 °С та тиску 2 бари. Рослини пажитниці багатоквіткової (*Lolium multiflorum* Lam., сорт "Согвус") вирощували в теплиці в пластикових горщиках об'ємом 4,2 дм³, добрива не використовували. Насіння висівали вручну. Перед посівом у ґрунт вносили матеріал, що містить спори та гіфи АМ грибів у пропорції 1:100. За період вегетації рослини зрізали двічі, висушували їх на повітрі до постійної ваги, подрібнювали та вимірювали величину активності за ^{137}Cs . Активність ^{137}Cs у ґрунті та рослинах визначали за допомогою НРGe детекторів із перерахунком на час відбору зразків. Коефіцієнти накопичення (КН) радіонукліду розраховували як відношення його активності в рослині, Бк кг⁻¹ с.в. до активності в ґрунті, Бк кг⁻¹ с.в.

Польовий дослід проводили у 2009-2010 рр. у Народицькому районі Житомирської області поблизу сіл Яжберень (51°14'55" пн. ш., 29°09'25" сх. д.) та Христинівка (51°14'14" пн. ш., 29°13'09" сх. д.) на супіщаному ґрунті за схемою: інокульований АМ грибами ґрунт, ґрунт, оброблений фунгіцидом "Benlate", та контроль. Розмір посівної площі кожної експериментальної ділянки становив 7,2 м² (3,0 м x 2,4 м), облікової площі 2,8 м² (1,4 м x 2,0 м). Відстань між ділянками 1 м. Повторність дослідів 4 кратна. Щільність радіоактивного забруднення за ^{137}Cs у 2009 році в шарі ґрунту 0-20 см становила 93,1±8,4 та 832,4±53,2 кБк м⁻². Перед посівом у ґрунт вносили матеріал, що містить спори та гіфи АМ грибів у кількості 5 мл см³ ґрунту з наступним перемішуванням його з верхнім 2-3-сантиметровим шаром ґрунту. Фунгіцид вносили у вигляді водного розчину з розрахунку одержання кінцевої концентрації 125 мг кг⁻¹ ґрунту. Усього було проаналізовано три укуси трави, методика підготовки зразків та вимірювання аналогічна до наведеної вище.

Для визначення інтенсивності мікоризної інфекції коренів рослин останні занурювали у 20% розчин гідроксиду калію, промивали водопровідною водою і підкислювали 1% соляної кислоти. Після цього коріння фарбували 0,05% трипанового синього в розчині молочна кислота-гліцерин-вода (14:1:1). Оцінку проводили візуально під бінокулярним мікроскопом. Інтенсивність мікоризної інфекції в корінні оцінювали як 0 = немає інфекції, 1 = поодинокі інфекції, 2 = помірно інфіковані корені, 3 = сильно інфіковані корені.

У дослідях використовували арбускулярний мікоризний продукт Муко-Умррі, що виробляється фірмою МТТ Агріфуд Ресерч (Фінляндія). Присутній у матеріалі штаму гриба було ізольовано з ґрунту сільськогосподарського призначення у Фінляндії. Муко-Умррі містить спори та гіфи арбускулярного мікоризного гриба *Glomus mosseae* разом із матеріалом-носієм (субстратом). Субстрат являє собою стерилізовану паром суміш торфу, піску та перліту.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Порівняння ефективності передпосівної інокуляції ґрунту арбускулярними мікоризними грибами при вирощуванні пажитниці багатоквіткової в умовах вегетаційного і польового

дослідів показує відсутність стимулюючого ефекту інокуляції ґрунту на величину біомаси досліджуваних рослин (табл. 1, 2). Так, в умовах вегетаційного дослідження біомаса пажитниці багатоквіткової першого укосу досліджуваного варіанта виявилась нижчою, ніж у варіанті зі стерилізованим ґрунтом та на контролі. При другому укосі відмінностей між досліджуваним та контрольними варіантами не спостерігалось. Аналогічні результати отримані і в умовах польового дослідження: відмінності між досліджуваними варіантами були в межах похибки для першого та другого укосів та практично нівелювались для третього укосу. Статистично значимих відмінностей величин біомаси пажитниці багатоквіткової між досліджуваними варіантами не виявлено.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика ефективності передпосівної інокуляції ґрунту арбускулярними мікоризними грибами (АМ) при вирощуванні пажитниці багатоквіткової. Вегетаційний дослід.

Варіанти дослідження	Укіс	
	1-й	2-й
Біомаса, г м ⁻²		
Інокульований ґрунт	3,21±0,32	1,90±0,09
Стерилізований ґрунт	3,99±0,17	1,96±0,02
Контроль	3,76±0,14	1,83±0,09
¹³⁷ Cs, Бк кг ⁻¹		
Інокульований ґрунт	213,4±28,0	290,5±79,4
Стерилізований ґрунт	445,4±48,8	568,5±58,9
Контроль	347,5±22,5	427,9±14,8
¹³⁷ Cs КН, (x10 ⁻²)		
Інокульований ґрунт	30,9±4,06	42,2±11,5
Стерилізований ґрунт	64,7±7,08	82,5±8,55
Контроль	50,4±3,27	62,1±2,15

Наземні частини рослин пажитниці багатоквіткової, що зростали на інокульованому АМ грибами ґрунті мали нижчу активність радіонукліду та відповідно нижчі значення КН ¹³⁷Cs ніж ті, що вирощувались на контрольних варіантах у вегетаційному та польовому дослідженнях (табл. 1, 2). Так, в умовах вегетаційного дослідження КН ¹³⁷Cs для рослин дослідного варіанта що зростали на інокульованому АМ грибами ґрунті, виявились у 2 рази нижчими, ніж для рослин стерилізованого ґрунту, та у 1,5 разу нижчими, ніж у рослин контрольного (неінокульований та нестерилізований ґрунт) варіанта для обох укосів. Аналогічно, в умовах польового дослідження КН ¹³⁷Cs для рослин дослідного варіанта, що зростали на інокульованому АМ грибами ґрунті, виявились у 1,5 разу нижчими, ніж для рослин обробленого фунгіцидом ґрунту для всіх трьох укосів. Для рослин пажитниці багатоквіткової контрольного варіанта (неінокульований та необроблений фунгіцидом ґрунт) величини КН ¹³⁷Cs варіювали залежно від укосів трави, але в середньому були на рівні величин КН ¹³⁷Cs для рослин дослідного варіанта. Це ж стосується і кореневої системи рослин обох дослідів: КН ¹³⁷Cs коренями дослідних рослин були нижчими, ніж КН ¹³⁷Cs коренями рослин контрольних варіантів. Отже, передпосівна інокуляція забрудненого радіоцезієм ґрунту АМ грибами при вирощуванні пажитниці багатоквіткової в умовах вегетаційного і польового дослідження не підвищує, а навпаки, знижує рівень накопичення радіонукліду рослинами.

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика ефективності передпосівної інокуляції ґрунту арбускулярними мікоризними грибами при вирощуванні пажитниці багатоквіткової. Польовий дослід.

Варіанти дослідів	Укіс		
	1-й	2-й	3-й
Біомаса, г м ⁻²			
Інокульований ґрунт	140,2±23,6	107,0±13,9	104,5±9,98
Ґрунт, оброблений фунгіцидом	133,9±18,0	120,5±13,9	104,0±6,23
Контроль	106,0±13,9	114,3±14,2	96,5±10,7
¹³⁷ Cs, Бк кг ⁻¹			
Інокульований ґрунт	102,1±25,1	111,6±22,6	62,6±12,8
Ґрунт, оброблений фунгіцидом	143,0±32,3	141,8±25,6	68,5±20,6
Контроль	119,4±22,5	158,2±30,9	85,4±11,7
¹³⁷ Cs КН, (x10 ⁻³)			
Інокульований ґрунт	41,1±6,11	44,1±6,88	21,5±4,92
Ґрунт, оброблений фунгіцидом	56,3±13,1	59,7±14,9	32,1±12,1
Контроль	61,3±16,5	21,5±4,92	21,5±4,58

У результаті дослідження інтенсивності мікоризної інфекції коренів рослин пажитниці багатоквіткової в умовах вегетаційного дослідів виявлено лише поодинокі інфекції (1 бал за 3-бальною шкалою) у 60% проаналізованих зразків. Залежностей між величинами КН ¹³⁷Cs рослинами та показниками інтенсивності мікоризної інфекції кореневої системи не виявлено ($r = -0,334$). В умовах польового дослідів корені рослин пажитниці багатоквіткової виявились помірно (2 бали за 3 бальною шкалою) інфіковані АМ грибами. Тим часом, залежностей між величинами КН ¹³⁷Cs рослинами та показниками інтенсивності мікоризної інфекції кореневої системи також не виявлено ($r = 0,33$). Величина біомаси досліджуваних рослин також не залежала від інтенсивності мікоризної інфекції кореневої системи: коефіцієнти кореляції між цими параметрами становили – 0,36 та – 0,50 для вегетаційного та польового дослідів відповідно.

Оскільки величини біомаси та КН ¹³⁷Cs рослинами пажитниці, що зростали на інокульованому АМ грибами ґрунті, виявились нижчими від тих же величин у рослин контрольних варіантів, загальна активність радіоцезію, накопиченого біомасою дослідних рослин, також виявилась нижчою ніж у контрольних рослин.

Характерно, що високі рівні накопичення радіонукліду спостерігались у тих рослин, які вирощувались на стерилізованому ґрунті (вегетаційний дослід), а також на ґрунті, обробленому фунгіцидом (польовий дослід). Найбільш імовірним поясненням вищих значень КН ¹³⁷Cs в обох випадках є додаткове вивільнення радіонукліду з біоти ґрунту, насамперед мікобіоти, і при дії високих температур та тиску і при дії фунгіциду.

Експериментальні дані, одержані нами, добре узгоджуються з результатами інших подібних досліджень. Відсутність ефекту від внесення АМ грибів у ґрунт при вирощуванні пажитниці багатоквіткової спостерігалась у вегетаційних дослідів Rosen і співавт., [11]. Інші автори [14] дійшли висновку, що інокуляція ґрунту не сприяє накопиченню радіоцезію рослинами пажитниці, а навпаки, знижує надходження останнього в рослини.

Одним із завдань цього дослідження було виявити, як інокуляція ґрунту штамом АМ гриба *Glomus mosseae* при вирощуванні пажитниці багатоквіткової в умовах вегетаційних і польових дослідів впливає на рівень накопичення радіоцезію. Адже відомо, що мікоризний симбіоз, що утворюється в тепличних умовах вегетаційного дослідів не обов'язково буде таким же в польових умовах [13]. Крім того, в умовах польових дослідів, на відміну від

вегетацийних дослідів, можна очікувати на супутні колонізації. В обох випадках інокуляція ґрунту не сприяє накопиченню радіонукліду рослинами пажитниці.

Оскільки симбіотичні асоціації між ендомікоризними грибами і коренями рослин є найбільш поширеним типом мікоризи, застосування алохтонних “чужорідних” видів грибів, які сформувалися поза межами цієї екосистеми, є найбільш імовірним поясненням менш вираженого ефекту підсилення накопичення радіонукліду досліджуваними рослинами.

Крім того, як показано Linderman та Davis [15], деякі комбінації рослин та АМ грибів можуть бути більш вигідними для рослини-господаря, ніж інші, що є свідченням структурних та функціональних відмінностей не лише між видами, а навіть між морфотипами одного і того ж виду грибів. З огляду на це позитивний ефект інокуляції може бути досягнутий лише у випадку сумісності рослини-господаря та АМ гриба [16]. У цьому експерименті ми використовували комерційний інокулянт *Glomus mosseae*. Очевидно, що для досягнення кращих результатів важливо враховувати походження АМ грибів. Відомо, що інокуляція ґрунту автохтонними (аборигенними) штамми грибів, які краще адаптовані до місцевих умов, ніж алохтонні, позитивно впливає не лише на продуктивність рослин, а також і на кількість грибних відростків у ґрунті [17].

Напрями подальших досліджень. З огляду на те, що в цій роботі використовувався алохтонний штам АМ гриба, варто було б дослідити, яким чином інокуляція автохтонним штамом впливатиме на накопичення радіоцезію мікоризними рослинами.

ВИСНОВКИ

При дослідженні ефективності передпосівної інокуляції ґрунту арбускулярними мікоризними грибами *Glomus mosseae* при вирощуванні пажитниці багатоквіткової в умовах вегетаційного і польового дослідів встановлено таке:

1. Інокуляція ґрунтів, що мають низький рівень радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи, штамом арбускулярного мікоризного гриба *Glomus mosseae* при вирощуванні пажитниці багатоквіткової не впливає на величину біомаси рослин в умовах вегетаційного і польового дослідів.
2. Рослини пажитниці багатоквіткової, що зростали на інокульованому АМ грибами ґрунті, накопичували меншу кількість радіонукліду, ніж ті, що вирощувались на контрольних варіантах в обох дослідях.
3. Інокуляція ґрунту алохтонними штамми арбускулярних мікоризних грибів із метою фіторемедіації радіоактивно забруднених земель не може бути рекомендована.

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

ЛІТЕРАТУРА

1. Vinichuk M.M. Accumulation of ¹³⁷Cs by fungal mycelium in forest ecosystems of Ukraine / M.M. Vinichuk, K.J. Johansson // Journal of Environmental Radioactivity – 2003. – V. 64(1). – P. 27–43.
2. Vinichuk M.M. ¹³⁷Cs 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. – V. 90. – P. 713–720.

3. Bakken L.R. Accumulation of radiocaesium in fungi / L.R. Bakken, R.A. Olsen // *Can. J. Microbiology*. – 1990. – V. 36. – P. 704–710.
4. Declerck S. Extraradical mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus lamellosum* can take up, accumulate and translocate radiocaesium under root-organ culture conditions / S. Declerck, H. Dupré de Boulois, C. Bivort, B. Delvaux // *Environmental Microbiology* – 2003. – V. 5. – P. 510–516.
5. Кріпка Г. В. Використання арбускулярних мікоризних грибів у фітореMediaції ґрунтів від радіонуклідів : автореф. дис... канд. біол. наук: 03.00.20 / Г.В. Кріпка; Ін-т клітин. біології та генет. інженерії, НАН України. – К., 2005. – 21 с.
6. de Boulois H. Transport of radiocaesium by arbuscular mycorrhizal fungi to *Medicago truncatula* under *in vitro* conditions / H. de Boulois, L. Voets, B. Delvaux, I. Jakobsen, S. Declerck // *Environmental Microbiology*. – 2006. – V. 8. – P. 1926–1934.
7. Rogers R.D. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza - Influence on Plant Uptake of Cesium and Cobalt / R.D. Rogers, S.E. Williams // *Soil Biology & Biochemistry*. – 1986. – V. 18. – P. 371–376.
8. Entry J.A. Accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr from contaminated soil by three grass species inoculated with mycorrhizal fungi / J.A. Entry, L.S. Astrud, M. Reeves // *Environmental Pollution*. – 1999. – V. 104. – P. 449–457.
9. Dubchak S. Influence of silver and titanium nanoparticles on arbuscular mycorrhiza colonization and accumulation of radiocesium in *Helianthus annuus* / S. Dubchak, D. Ogar, J.W. Mietelski, K. Turnau // *Spanish Journal of Agricultural Research*. – 2010. – V. 8(1). – P. 103–108.
10. Joner E.J. No significant contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to transfer of radiocesium from soil to plants / E.J. Joner, P. Roos, J. Jansa, E. Frossard, C. Leyval, I. Jakobsen // *Applied Environmental Microbiology*. – 2004. – V. 70. – P. 6512–6517.
11. Rosén K. Arbuscular mycorrhizal fungi mediated uptake of ^{137}Cs in leek and ryegrass / K. Rosén, Z. Weiliang, A. Mårtensson // *Science of the Total Environment*. – 2005. – V. 338. – P. 283–290.
12. 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*. – 2013. – V. 115. – P. 151–156.
13. Harley J.C. *Mycological Symbiosis* / J.C. Harley, S.E. Smith. – Academic Press : London., 1983. – 483 pp.
14. Dighton J. Uptake and immobilization of caesium in UK grassland and forest soils by fungi following the Chernobyl accident / T. Dighton, G.M. Terry. In: J.C. Frankland, N. Magan, G.M. Gadd, Eds., *Fungi and Environmental Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. – 1996. – P. 184–200.
15. Linderman R.G. Varied response of marigold (*Tagetes* spp.) genotypes to inoculation with different arbuscular mycorrhizal fungi / R.G. Linderman, E.A. Davis // *Scientia Horticulturae (Canterbury, Engl.)*. – 2004. – V. 99. – P. 67–78.
16. Rodríguez Y.B. Estudio comparativo del comportamiento de seis cepas de hongos micorrízicos arbusculares en su interacción con el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. var. Amalia) / Y.B. Rodríguez, de la Noval, F. Fernández, P. Rodríguez // *Ecología Aplicada*. – 2004. – V. 3. – P. 162–171.

17. Johnson N.C. Resource limitation is a driver of local adaptation in mycorrhizal symbioses / N.C. Johnson, G.W.T. Wilson, M.A. Bowker, J.A. Wilson, R.M. Miller // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2010. – V. 107. – P. 2093–2098.

REFERENCES

1. Vinichuk M.M. Accumulation of ^{137}Cs by fungal mycelium in forest ecosystems of Ukraine / M.M. Vinichuk, K.J. Johansson // Journal of Environmental Radioactivity. – 2003. – V. 64(1). – P. 27–43.
2. 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. – V. 90. – P. 713–720.
3. Bakken L.R. Accumulation of radiocaesium in fungi / L.R. Bakken, R.A. Olsen // Can. J. Microbiology. – 1990. – V. 36. – P. 704–710.
4. Declerck S. Extraradical mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus lamellosum* can take up, accumulate and translocate radiocaesium under root-organ culture conditions / S. Declerck, H. Dupré de Boulois, C. Bivort, B. Delvaux // Environmental Microbiology. – 2003. – V. 5. – P. 510–516.
5. Kripka G. V. Vykorystannja arbuskuljarnyh mikoryznych grybiv u fitoremediacii' gruntiv vid radionuklidiv : avtoref. dys... kand. biol. nauk: 03.00.20 / G.V. Kripka; In-t klityn. biologii' ta genet. inzhenerii', NAN Ukraïny. – K., 2005. – 21 s.
6. de Boulois H. Transport of radiocaesium by arbuscular mycorrhizal fungi to *Medicago truncatula* under *in vitro* conditions / H. de Boulois, L. Voets, B. Delvaux, I. Jakobsen, S. Declerck // Environmental Microbiology. – 2006. – V. 8. – P. 1926–1934.
7. Rogers R.D. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza - Influence on Plant Uptake of Cesium and Cobalt / R.D. Rogers, S.E. Williams // Soil Biology & Biochemistry. – 1986. – V. 18. – P. 371–376.
8. Entry J.A. Accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr from contaminated soil by three grass species inoculated with mycorrhizal fungi / J.A. Entry, L.S. Astrud, M. Reeves // Environmental Pollution. – 1999. – V. 104. – P. 449–457.
9. Dubchak S. Influence of silver and titanium nanoparticles on arbuscular mycorrhiza colonization and accumulation of radiocesium in *Helianthus annuus* / S. Dubchak, D. Ogar, J.W. Mietelski, K. Turnau // Spanish Journal of Agricultural Research . – 2010. – V. 8(1). – P. 103–108.
10. Joner E.J. No significant contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to transfer of radiocesium from soil to plants / E.J. Joner, P. Roos, J. Jansa, E. Frossard, C. Leyval, I. Jakobsen // Applied Environmental Microbiology. – 2004. – V. 70. – P. 6512–6517.
11. Rosén K. Arbuscular mycorrhizal fungi mediated uptake of ^{137}Cs in leek and ryegrass / K. Rosén, Z. Weiliang, A. Mårtensson // Science of the Total Environment. – 2005. – V. 338. – P. 283–290.
12. 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. – 2013. – V. 115. – P. 151–156.
13. Harley J.C. Mycological Symbiosis / J.C. Harley, S.E. Smith. – Academic Press : London., 1983. – 483 pp.
14. Dighton J. Uptake and immobilization of caesium in UK grassland and forest soils by fungi following the Chernobyl accident / T. Dighton, G.M. Terry. In: J.C. Frankland, N. Magan, G.M. Gadd, Eds., Fungi and Environmental Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press. – 1996. – P. 184–200.
15. Linderman R.G. Varied response of marigold (*Tagetes* spp.) genotypes to inoculation with different arbuscular mycorrhizal fungi / R.G. Linderman, E.A. Davis // Scientia Horticulturae (Canterbury, Engl.). – 2004. – V. 99. – P. 67–78.
16. Rodríguez Y.B. Estudio comparativo del comportamiento de seis cepas de hongos micorrízicos arbusculares en su interacción con el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. var. Amalia) / Y.B. Rodríguez, de la Noval, F. Fernández, P. Rodríguez // Ecología Aplicada. – 2004. – V. 3. – P. 162–171.
17. Johnson N.C. Resource limitation is a driver of local adaptation in mycorrhizal symbioses / N.C. Johnson, G.W.T. Wilson, M.A. Bowker, J.A. Wilson, R.M. Miller // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2010. – V. 107. – P. 2093–2098.