

УДК 579.64:581.131

ДІЯ ІНОКУЛЯЦІЇ АРБУСКУЛЯРНИМ МІКОРИЗНИМ ГРИБОМ *GLOMUS MOSSEAE* (NICOL. ET GERD.) GERD ET TRAPPE НА РІСТ РОСЛИН ЛЮЦЕРНИ В УМОВАХ ЗАБРУДНЕННЯ ЦИНКОМ, СВИНЦЕМ, МІДДЮ, КАДМІЄМ ТА АРСЕНОМ

Ж.З. ГУРАЛЬЧУК,¹ К. ДЕЛЬ ВАЛЬ,² Х.М. БАРЕА,² К. АСКОН-АГІЛАР²

¹Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17

²Експериментальна станція Саїдину Вищої Ради наукових досліджень
08018 Гренада, Іспанія, вул. Проф. Альбарета, 1

В умовах вегетаційних дослідів вивчали вплив інокуляції рослин ізолятом арбускулярного мікоризного гриба *Glomus mosseae* (Nicol. et Gerd.) Gerd et Trappe, толерантного до важких металів, на ріст рослин люцерни на ґрунтах, різною мірою забруднених важкими металами (Zn, Pb, Cd, Cu) і арсеном внаслідок аварії на піритовій шахті. Виявлено значне прискорення росту і збільшення маси надземних органів у мікоризованих рослин. Мікоризація впливала на ріст рослин люцерни значно більше на ґрунтах із вищим ступенем забруднення важкими металами й арсеном. Інокуляція рослин ізолятом толерантного до важких металів *Glomus mosseae* поліпшувала ріст рослин ефективніше порівняно з менш толерантним штамом.

Ключові слова: важкі метали, цинк, свинець, кадмій, мідь, арсен, мікориза, *Glomus mosseae* (Nicol. et Gerd.) Gerd et Trappe, люцерна.

У результаті антропогенної діяльності, такої як видобуток корисних копалин, спалювання горючих сланців, палива, застосування добрив, засобів захисту рослин, барвників [1], використання осадів стічних вод, а також внаслідок техногенних аварій, у навколишньому середовищі значно підвищується вміст важких металів (ВМ). Оскільки ВМ не піддаються хімічній деградації і залишаються у ґрунті протягом тривалого часу, особливо актуальною є розробка способів очищення ґрунтів від них або ж їх іммобілізація у ґрунті.

Ключову роль у мобілізації та іммобілізації катіонів ВМ відіграють ґрунтові мікроорганізми, внаслідок чого змінюється їх доступність для рослин [6, 7, 12, 13]. Арбускулярні мікоризні (АМ) гриби є ґрунтовими мікроорганізмами, які утворюють взаємовигідний симбіоз із більшістю вищих рослин, при цьому гриб отримує від рослини органічні сполуки, а рослина — фосфор та інші макро- і мікроелементи. Згідно з літературними даними, ВМ здатні уповільнювати або й повністю усувати колонізацію рослин АМ грибами [9], проте трапляються також відомості, що в деяких випадках внесення у ґрунт осадів стічних вод, які містять ВМ, незначною мірою впливає на розвиток арбускулярних мікориз [4]. Така неоднозначна дія ВМ може бути пов'язана з різним ступенем стійкості екотипів АМ грибів до їх впливу [16].

У зв'язку з цим можна очікувати, що утворення симбіозу з АМ грибами, взятими з місць, забруднених ВМ, підвищуватиме стійкість рослин до дії ВМ, що дуже актуально для фітомеліорації ґрунтів.

Метою роботи було вивчення стійкості рослин до дії ВМ та арсену за інокуляції АМ грибами з різним ступенем толерантності до ВМ.

Методика

Об'єктом дослідження слугували рослини люцерни (*Medicago sativa* L.). Вони здатні накопичувати ВМ [20], формувати велику кореневу систему, що дуже глибоко проникає у ґрунт [2], і тому можуть бути використані для фіторемедіації, зокрема для фітомеліорації шахтних відвалів ґрунту. Субстратом для їх вирощування були ґрунти, різною мірою забруднені ВМ та металоїдами внаслідок техногенної аварії, що сталася через прорив стінки відстійника на одній із піритових шахт на півдні Іспанії, поблизу Севільї. Суміш, що вилілася з відстійника, містила неорганічні забрудники у високих концентраціях (Zn — 8000 мг/кг, Pb — 8000, Cu — 2000, Cd — 28, As — 5000, Co — 90, Tl — 55, Bi — 70, Hg — 15 мг/кг) та ароматичні вуглеводні. Це призвело до збільшення концентрації важких металів і арсену на значній площі сільськогосподарських угідь. Невдовзі після аварії верхній шар ґрунту завтовшки 40 см було знято, проте деяка частина забрудників усе ж просочилася в нижні його шари. Це зумовило різні рівні забруднення залежно від фізико-хімічних характеристик ґрунту та ефективності зняття верхнього шару.

Зразки ґрунту для проведення дослідів було взято в 4 пунктах, що знаходились на різних відстанях від шахти, умовно їх позначили номерами 1—4. Щоб оцінити ступінь забруднення відібраних зразків ґрунту, які мало різнились за рН (6,9—7,5), але значно — за вмістом глини (14,6—34,0 %), їх проаналізували. Загальний вміст металів визначали екстрагуванням царською горілкою та подальшим аналізом методом атомної абсорбції [10], вміст доступного фосфору — методом Ольсена, азоту — за К'ельдалем, органічної речовини — після екстрагування пірофосфатом натрію за методом, модифікованим Бараона [10, 18], вільного заліза — за методом Холмгрен [11]. Концентрацію рухомих форм ВМ визначали після їх екстрагування ЕДТА (0,05 М) за співвідношення ґрунту й ЕДТА 1:25 [10].

ґрунт просіювали крізь сито з діаметром отворів 4 мм і стерилізували водяною парою за температури 80 °С протягом 1 год послідовно тричі через 1 добу. Гранулометричний склад ґрунту поліпшували додаванням піску в пропорції 1:1 (за об'ємом). Рослини люцерни (*Medicago sativa* L.) вирощували в пластмасових посудинах місткістю 2 л у стерильному ґрунті (контроль) та з інокуляцією грибом-мікоризоутворювачем (*Glomus mosseae* (Nicol. et Gerd.) Gerd et Trappe BEG 119 із колекції Експериментальної станції Саїдину і *Glomus mosseae* (Nicol. et Gerd.) Gerd et Trappe, що був виділений із ґрунтів, забруднених ВМ (Німеччина, Брауншвейг), і є стійким до їх дії (умовно позначимо його *Glomus mosseae* В) [8]. Насіння люцерни поверхнево стерилізували за допомогою 0,5 %-го гіпохлориту натрію протягом 30 хв, потім промивали стерильною водою і висівали в субстрат. Після сходів у кожній посудині залишали по 15 рослин. Люцерну вирощували протягом одного вегетаційного сезону, у фазу бутонізації—цвітіння рослини зрізали. Визначали маси сирої та сухої

речовин надземної частини і коренів. Повторність дослідів восьмиразова. Результати оброблені статистично за методом Superganova.

Результати та обговорення

Фізико-хімічні характеристики зразків ґрунтів, використаних в експерименті, наведено в табл. 1. Вони мало різнилися за рН (6,9—7,5), але значно — за гранулометричним складом, вмістом карбонату кальцію, вільного заліза та фосфору. Найменший вміст фосфору у зразку ґрунту 2 (9,5 мг/кг), найбільший — у зразку 3 (32,4 мг/кг). Найбільше карбонату кальцію містив зразок 3, найменше — зразок 2, в останньому виявлено найвищий вміст вільного заліза.

Згідно з даними табл. 2, зразки ґрунту характеризувались неоднаковими рівнями забруднення ВМ та арсеном. Загальний вміст цинку, кадмію, свинцю, арсену та міді найвищий у зразку 2 — відповідно 2338; 5,7; 989; 519 та 274 мг/кг повітряно-сухого ґрунту. Валовий вміст цинку, свинцю й арсену у зразку ґрунту 4 менший приблизно у 3 рази, а міді та кадмію — в 1,5 рази, ніж у зразку 2. Набагато чистішими порівняно з ними виявились зразки 1 і 3, які містили у 6—9 разів менше цинку, у

ТАБЛИЦЯ 1. Фізико-хімічна характеристика зразків ґрунтів, відібраних для досліджень

Зразок ґрунту	Пісок, %	Суглинок, %	Глина, %	рН	Органічна речовина, %	P ₂ O ₅ , мг/кг	Азот, %	Вільне залізо, %	CaCO ₃ , %
1	27,1	41,7	31,2	7,0	0,48	23,4	0,072	1,18	10,23
2	57,4	28,0	14,6	6,9	0,29	9,5	0,088	2,53	4,76
3	17,6	48,4	34,0	7,5	0,45	32,4	0,080	1,14	16,16
4	48,2	29,8	22,0	7,4	0,47	22,5	0,079	1,46	11,25

ТАБЛИЦЯ 2. Загальний вміст важких металів та арсену в ґрунтах, мг/кг повітряно-сухого ґрунту

Зразок ґрунту	Zn	Cd	Cu	As	Pb
1	395 ^{ab}	2,3 ^a	81 ^b	79 ^a	200 ^a
2	2338 ^d	5,7 ^c	274 ^d	519 ^c	989 ^d
3	249 ^a	2,1 ^a	61 ^a	119 ^{ab}	279 ^b
4	816 ^c	4,2 ^b	190 ^c	168 ^b	371 ^c

Примітка. Тут і далі дані, позначені різними літерами, статистично вірогідно різняться між собою ($p \leq 5\%$).

ТАБЛИЦЯ 3. Вміст доступних важких металів у ґрунтах, мг/кг повітряно-сухого ґрунту

Зразок ґрунту	Zn	Cd	Cu	Pb
1	69,8 ^b	1,15 ^b	23,8 ^b	28,2 ^b
2	317,0 ^d	3,03 ^d	61,4 ^d	37,5 ^c
3	48,9 ^a	0,83 ^a	12,4 ^a	22,0 ^a
4	160,0 ^c	1,94 ^c	58,2 ^c	76,2 ^d

ДЕЙСТВИЕ ИНОКУЛЯЦИИ АРБУСКУЛЯРНЫМ МИКОРИЗНЫМ ГРИБОМ

~2,5 — кадмію, у 3,5—4,5 — міді, у 3,5—5 — свинцю, у ~4,5—6,5 разів менше арсену, ніж зразок ґрунту 2. За зменшенням загального вмісту цинку, кадмію та міді їх можна розмістити у такий ряд: зразок 2 > зразок 4 > зразок 1 > зразок 3, за винятком свинцю, вміст якого у зразку ґрунту 3 вищий, ніж у зразку 1. Вміст доступних форм цих ВМ знижується в порядку: зразок 2 > зразок 4 > зразок 1 > зразок 3, але вміст доступного свинцю в зразку 4 вищий, ніж у зразку 2 (табл. 3). Експериментально доведено, що ріст рослин залежить від ступеня забруднення ґрунту. Найгірше вони росли на найзабрудненішому зразку ґрунту 2, де в контролі вижило лише невелике число рослин, найкраще — на найчистішому зразку 3 (табл. 4).

Незалежно від вмісту в ґрунтах ВМ та арсену інокуляція мікоризними грибами позитивно впливала на ріст надземної частини рослин. Так, у варіанті з мікоризацією рослин *Glomus mosseae* BEG 119 в усіх зразках ґрунту спостерігалось збільшення маси сирової речовини надземної частини люцерни. Найчіткіше ця дія була виражена на найзабрудненішому зразку ґрунту 2, найменш чітко — на найчистішому зразку 3.

Мікоризація рослин *Glomus mosseae* BEG 119 інтенсифікує ріст не лише надземної частини рослин, а й коренів, що підтверджують дані про накопичення ними сирової речовини (табл. 5). Як і в надземній частині, особливо значним був вплив інокуляції *Glomus mosseae* (Nicol. et Gerd.) Gerd. et Trappe BEG 119 на накопичення сирової речовини коренями люцерни на найзабрудненішому зразку ґрунту 2, найменшим — на найчистішому зразку 3.

ТАБЛИЦЯ 4. Вплив інокуляції *G. mosseae* на динаміку накопичення маси сирової речовини у надземних органах рослин люцерни, вирощених на ґрунтах із різними ступенями забруднення важкими металами, г/посудину

Варіант	Зрізування					Загальна маса
	I	II	III	IV	V	
Зразок ґрунту 1						
Контроль	4,73 ^a	3,99 ^a	4,02 ^a	4,52 ^a	7,34 ^a	24,60 ^a
<i>G. mosseae</i> BEG 119	7,31 ^b	9,66 ^b	7,40 ^b	8,64 ^b	12,15 ^c	45,21 ^c
<i>G. mosseae</i> B	8,42 ^c	9,01 ^c	7,36 ^c	7,27 ^b	11,24 ^{bc}	43,28 ^{bc}
Зразок ґрунту 2						
Контроль	0,10 ^a	0,07 ^a	0,19 ^a	0,22 ^a	—	0,58 ^a
<i>G. mosseae</i> BEG 119	5,11 ^b	5,08 ^b	11,79 ^b	10,20 ^b	—	31,39 ^b
<i>G. mosseae</i> B	6,82 ^c	7,33 ^c	11,00 ^c	9,92 ^b	—	35,86 ^c
Зразок ґрунту 3						
Контроль	8,93 ^a	7,99 ^a	7,71 ^a	7,91 ^a	11,90 ^a	44,45 ^a
<i>G. mosseae</i> BEG 119	10,16 ^b	9,57 ^b	9,84 ^b	9,91 ^b	13,79 ^b	53,27 ^b
<i>G. mosseae</i> B	13,25 ^c	11,33 ^c	11,09 ^c	9,56 ^b	16,36 ^c	61,59 ^c
Зразок ґрунту 4						
Контроль	2,36 ^a	8,44 ^a	8,74 ^a	—	—	19,54 ^a
<i>G. mosseae</i> BEG 119	6,71 ^b	13,80 ^b	14,13 ^b	—	—	34,64 ^b
<i>G. mosseae</i> B	7,92 ^c	15,12 ^b	16,87 ^b	—	—	39,91 ^c

ТАБЛИЦЯ 5. Вплив інокуляції *G. mosseae* на масі сирої та сухої речовин коренів рослин люцерни, вирощених на ґрунтах із різними ступенями забруднення важкими металами, г/посудину

Варіант	Зразок ґрунту			
	1	2	3	4
Маса сирої речовини				
Контроль	10,86 ^a	0,28 ^a	21,47 ^a	11,95 ^{ab}
<i>G. mosseae</i> BEG 119	14,39 ^b	21,16 ^b	23,72 ^{ab}	15,90 ^{bc}
<i>G. mosseae</i> В	17,29 ^c	20,13 ^b	25,73 ^b	15,58 ^{bc}
Маса сухої речовини				
Контроль	1,53 ^a	0,04 ^a	3,61 ^a	1,53 ^a
<i>G. mosseae</i> BEG 119	2,36 ^{bc}	3,44 ^b	4,68 ^c	2,48 ^b
<i>G. mosseae</i> В	2,69 ^c	3,55 ^b	4,53 ^{bc}	2,40 ^b

Порівняння дії толерантного до ВМ ізоляту мікоризних грибів *Glomus mosseae* В та менш стійкого штаму *Glomus mosseae* BEG 119 дає підстави стверджувати, що перший ефективніше діє на ріст рослин. Так, при вирощуванні рослин на зразках ґрунту 2 і 3 сумарне накопичення маси сирої речовини в надземній частині рослин за мікоризації *G. mosseae* В було вищим, ніж у варіанті з *G. mosseae* BEG 119 відповідно на 14 і 15 % (див. табл. 4). У рослин, культивованих на зразку ґрунту 4, також більше накопичувалось сирої речовини у надземній частині за інокуляції їх *G. mosseae* В, приріст маси надземної частини становив 15 % порівняно з варіантом з інокуляцією *G. mosseae* BEG 119. Лише у рослин люцерни зі зразка ґрунту 1 не виявлено відмінності в дії толерантного до ВМ і менш толерантного *G. mosseae* на накопичення сирої речовини в надземній частині. Водночас зафіксовано статистично вірогідний позитивний вплив толерантного до ВМ *G. mosseae* В на накопичення сирої речовини коренів порівняно з *G. mosseae* BEG 119 (див. табл. 5). Слід зазначити, що як толерантний до ВМ, так і менш толерантний *G. mosseae* позитивно впливали на ріст кореневої системи порівняно з контролем. Такий ефект спостерігався на всіх вивчених зразках ґрунту. В той самий час відмінність у дії толерантного і менш толерантного АМ гриба на накопичення маси сирої речовини коренів рослин люцерни на зразках ґрунту 2—4 була незначною.

Аналіз динаміки накопичення сухої речовини рослинами під впливом інокуляції АМ грибами показав, що для цього показника загалом зберігаються такі самі закономірності, як і для вмісту сирої речовини.

Так, мікоризація рослин як *G. mosseae* BEG 119, так і *G. mosseae* В на всіх ґрунтах незалежно від ступеня забруднення ВМ призводила до вірогідного збільшення накопичення маси сухої речовини як у коренях, так і в надземній частині порівняно з контролем (див. табл. 5, 6). При цьому спостерігалось більше зростання вмісту сухої речовини в надземній частині рослин, вирощуваних на зразках ґрунту 2 і 3 та тенденція до її зростання — зразок 4 при інокуляції рослин *G. mosseae* В порівняно з *G. mosseae* BEG 119. Під впливом інокуляції як *G. mosseae* BEG 119, так і *G. mosseae* В збільшувалась маса сухої речовини коренів порівняно з контролем.

ДЕЙСТВИЕ ИНОКУЛЯЦИИ АРБУСКУЛЯРНЫМ МИКОРИЗНЫМ ГРИБОМ

ТАБЛИЦЯ 6. Вплив інокуляції *G. mosseae* на динаміку накопичення маси сухої речовини у надземних органах рослин люцерни, вирощених на ґрунтах із різними ступенями забруднення важкими металами, г/посудину

Варіант	Зрізування					Загальна маса
	I	II	III	IV	V	
Зразок ґрунту 1						
Контроль	1,11 ^a	0,85 ^a	0,78 ^a	0,83 ^a	1,32 ^a	4,88 ^a
<i>G. mosseae</i> BEG 119	1,66 ^b	1,94 ^b	1,62 ^{bc}	1,47 ^b	2,39 ^b	9,08 ^b
<i>G. mosseae</i> B	1,88 ^c	1,86 ^b	1,52 ^b	1,31 ^b	2,38 ^b	8,96 ^b
Зразок ґрунту 2						
Контроль	0,11 ^a	0,06 ^a	0,03 ^a	0,04 ^a	—	0,24 ^a
<i>G. mosseae</i> BEG 119	1,25 ^b	1,13 ^b	1,96 ^b	2,09 ^b	—	6,43 ^b
<i>G. mosseae</i> B	1,66 ^c	1,42 ^c	2,04 ^{bc}	2,03 ^b	—	7,15 ^c
Зразок ґрунту 3						
Контроль	2,20 ^a	1,75 ^a	1,76 ^a	1,57 ^a	2,92 ^a	10,17 ^a
<i>G. mosseae</i> BEG 119	2,22 ^a	2,14 ^b	2,18 ^b	1,91 ^b	3,45 ^b	11,90 ^b
<i>G. mosseae</i> B	2,95 ^b	2,75 ^c	2,45 ^c	2,08 ^c	4,00 ^c	14,23 ^c
Зразок ґрунту 4						
Контроль	0,45 ^a	1,40 ^a	1,50 ^a	—	—	3,35 ^a
<i>G. mosseae</i> BEG 119	1,35 ^b	2,44 ^{bc}	2,54 ^b	—	—	6,33 ^b
<i>G. mosseae</i> B	1,64 ^b	2,55 ^c	2,93 ^b	—	—	7,13 ^{bc}

Результати досліджень підтвердили, що інокуляція як толерантним до ВМ, так і менш толерантним ізолятами АМ гриба *G. mosseae* значно поліпшує ріст рослин на ґрунтах, різною мірою забруднених ВМ, що виявляється в істотному збільшенні накопичення мас сирової та сухої речовин у надземній частині та коренях рослин люцерни. На більшості досліджених нами зразків ґрунтів встановлено чіткіший позитивний вплив на ріст рослин толерантного до ВМ *G. mosseae* B порівняно з менш толерантним *G. mosseae* BEG 119, який позначився насамперед на інтенсивності росту маси надземної частини рослин. Це означає, що для фітотеліорації ґрунтів, забруднених ВМ, слід віддавати перевагу толерантним до їх дії АМ грибам із метою ефективнішого відновлення екосистем, порушених внаслідок антропогенної діяльності.

Механізми захисної дії АМ грибів на рослини в умовах забруднення ВМ точно не встановлені. Вони можуть бути зумовлені поліпшенням фосфорного живлення рослин і, як наслідок, посиленням їхнього росту та ефектом «розбавлення» ВМ збільшеною масою пагонів і коренів [5]. Можливі також виключення ВМ з метаболізму преципітацією на гранулах поліфосфатів і компартментація ВМ в окремих органелах клітин [14, 22]. Мікоризи здатні обмежувати надходження в рослини ВМ унаслідок їхньої іммобілізації в гіфах гриба. Так, деякі дослідники [22] показали, що Cd, Ti, Ba у структурах гриба накопичуються більшою мірою, ніж у клітинах рослини-хазяїна.

Не можна не брати до уваги ймовірний вплив мікоризного симбіозу на прояв фізіологічних реакцій на стрес, викликаний ВМ. Наприклад ус-

тановлено, що в умовах забруднення кадмієм мікоризація стимулює фенольну систему захисту в симбіозі *Paxillus—Pinus* [21]. При цьому індуковані кадмієм негативні зміни фізіологічних процесів у мікоризних коренях були відсутні чи незначні порівняно з немікоризними. Не виключена також захисна дія мікоризних грибів через їх вплив на вміст глутатіону.

Непрямий механізм дії АМ грибів на поглинання ВМ може полягати у впливі мікоризної інфекції на ризосферу, зокрема шляхом дії на інші мікроорганізми [19], значення рН (хоча літературні дані щодо цього неоднозначні [3, 17]), окисно-відновний потенціал ґрунту, доступність деяких елементів, а також на видільну активність коренів [15].

Отже, отримані дані підтвердили, що мікоризація АМ грибом *Glomus mosseae* (Nicol. et Gerd.) Gerd et Trappe позитивно впливає на ріст рослин люцерни в умовах комбінованого забруднення важкими металами (Pb, Zn, Cu, Cd) та арсеном, значно збільшує їх виживання, що може бути цінним для фітореMediaції забруднених ВМ ґрунтів, зокрема для їх фітостабілізації. При цьому ефективність протекторної дії на рослини толерантного до ВМ ізоляту *Glomus mosseae* вища порівняно з менш толерантним. У зв'язку з цим при фітомеліорації слід віддавати перевагу стійким до ВМ грибам-мікоризоутворювачам.

1. Кабата-Пендіас А., Пендіас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. — М.: Мир, 1989. — 439 с.
2. Узбек I.X. Розвиток кореневих систем та значення видів *Medicago* L. та *Onobrychis* Adans. (Fabaceae) для техногенних ландшафтів // Укр. бот. журн. — 1995. — 52, № 5. — С. 610—615.
3. Antunes P.M., Schneider K., Hillis D., Klironomos J.N. Can the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* actively mobilize P from rock phosphates? // Pedobiologia. — 2007. — 51, N 4. — P. 281—286.
4. Arnold P.T., Kaputcka L.A. VA mycorrhizal colonization and spore populations in abandoned agricultural field after five years of sludge addition // Ohio J. Sc. — 1987. — 87. — P. 112—114.
5. Atimanav G., Alok A. Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils // Curr. Sci. — 2004. — 86, N 4. — P. 528—534.
6. Barea J.M., Jeffries P. Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil-plant systems // Mycorrhiza: Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology / Eds. A. Varma, B. Hock. — Heidelberg: Springer-Verlag, 1995. — P. 521—559.
7. Birch L.D., Bachofen R. Effects of microorganisms on the environmental mobility of radionuclides // Soil. Biochemistry / Eds. J.M. Bollang, G. Stozky. — V. 6. — New York: Marcel Dekker, 1990. — P. 483—527.
8. Del Val C., Barea J.M., Azcon-Aguilar C. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungus populations in heavy-metal-contaminated soils // Appl. Environ. Microbiol. — 1999. — 65, N 2. — P. 718—723.
9. Gildon A., Tinker P.B. Interactions of vesicular arbuscular mycorrhizal infection and heavy metals in plants. The effects of heavy metals on the development of vesicular-arbuscular mycorrhizas // New Phytol. — 1983. — 95. — P. 247—261.
10. Grupo de normalizacion de metodos analiticos // 1^{er} Congr. Nacional de Ciencias del Suelo. Ed. MOPU. — 1984. — 1. — P. 53—69.
11. Holmgren G.S. A rapid citrate-dithionite extractable iron procedure // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. — 1967. — 31. — P. 210—211.
12. Joner E.J., Leyval C. Uptake of ¹³⁹Cd by roots and hyphae of a *Glomus mosseae*/*Trifolium subterraneum* mycorrhiza from soil amended with high and low concentration of cadmium // New Phytol. — 1997. — 135. — P. 353—360.
13. Joner E.J., Leyval C. Time-course of heavy metal uptake in maize and clover as affected by root density and different mycorrhizal inoculation regimes // Biol. Fertil. Soils. — 2001. — 33. — P. 351—357.

14. Kaldorf M., Kuhn A.J., Schroder W.H. et al. Selective element deposits in maize colonized by a heavy metal tolerance conferring arbuscular mycorrhizal fungus // J. Plant Physiol. — 1999. — **154**. — P. 718—728.
15. Laheurte F., Leyval C., Berthelin J. Root exudates of maize, pine and beech seedlings influenced by mycorrhizal and bacterial inoculation // Symbiosis. — 1990. — **9**. — P. 111—116.
16. Leyval C., Weisseinhorn I. Tolerance to metals of arbuscular mycorrhizal fungi from heavy metal polluted soils // Mycorrhizae in Integrated Systems: from Genes to Plant Development / Eds. C. Azcon-Aguilar, J.M. Barea. — Brussels, Belgium: European Commission, 1996. — P. 452—454.
17. Li X.L., George E., Marschner H. Phosphorus depletion and pH decrease at the root-soil and hyphae-soil interfaces of VA mycorrhizal white clover fertilized with ammonium // New Phytol. — 1991. — **119**. — P. 397—404.
18. MAPA. Metodos oficiales de analisis. — V. 3. — Madrid: Publicaciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentacion, 1986. — 536 p.
19. Olsson P.A., Francis R., Read D.J., Soderstrom B. Growth of arbuscular mycorrhizal mycelium in calcareous dune sand and its interaction with other soil microorganisms as estimated by measurement of specific fatty acids // Plant Soil. — 1998. — **201**. — P. 9—16.
20. Peralta-Videa J.P., Gardea-Torresday J.L., Gomez E. et al. Potential of alfalfa plant to phytoremediate individually contaminated montmorillonite-soils with cadmium(II), chromium(VI), copper(II), nickel(II) and zinc(II) // Bull. Environ. Contam. Toxicol. — 2002. — **69**. — P. 74—81.
21. Schutzendubel A., Polle A. Plant responses to abiotic stresses: heavy-metal induced oxidative stress and protection by mycorrhization // J. Exp. Bot. — 2002. — **53**, N 372. — P. 1351—1365.
22. Turnau K., Kottke I., Oberwinkler F. Element localization in mycorrhizal roots of *Pteridium aquilinum* L. Kuhn collected from experimental plots treated with cadmium dust // New Phytol. — 1993. — **123**. — P. 313—324.

Отримано 23.07.2008

ДЕЙСТВИЕ ИНОКУЛЯЦИИ АРБУСКУЛЯРНЫМ МИКОРИЗНЫМ ГРИБОМ
GLOMUS MOSSEAE (NICOL. ET GERD.) GERD ET TRAPPE НА РОСТ РАСТЕНИЙ
ЛЮЦЕРНЫ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЦИНКОМ, СВИНЦОМ, МЕДЬЮ,
КАДМИЕМ И МЫШЬЯКОМ

Ж.З. Гуральчук,¹ К. Дель Валь,² Х.М. Барера,² К. Аскон-Агилар²

¹Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины, Киев

²Экспериментальная станция Саидина Высшего Совета научных исследований, Гренада, Испания

В условиях вегетационных опытов изучали влияние инокуляции растений изолятом арбускулярного микоризного гриба *Glomus mosseae* (Nicol. et Gerd.) Gerd et Trappe, толерантного к тяжелым металлам, на рост растений люцерны на почвах, в разной степени загрязненных тяжелыми металлами (Zn, Pb, Cd, Cu) и мышьяком вследствие аварии на пиритовой шахте. Обнаружено значительное ускорение роста и увеличение массы надземных органов у микоризованных растений. Микоризация влияла на рост растений люцерны значительно больше на почвах с более высокой степенью загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком. Инокуляция растений изолятом толерантного к тяжелым металлам *Glomus mosseae* улучшала рост растений эффективнее по сравнению с менее толерантным штаммом.

INFLUENCE OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI
GLOMUS MOSSEAE (NICOL. ET GERD.) GERD ET TRAPPE ON ALFALFA GROWTH
UNDER POLLUTION BY Zn, Pb, Cu, Cd AND As

Zh.Z. Guralchuk,¹ C. del Val,² J.M. Barea,² C. Azcon-Aguilar²

¹Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasykivska St., Kyiv, 03022, Ukraine

²Experimental Station of Zaidin, Counsel Supreme of Scientific Researches
1 Prof. Albareda St., Granada, 08018, Spain

The influence of the mycorrhizal infection by isolate of tolerant to heavy metals *G. mosseae* (Nicol. et Gerd.) Gerd et Trappe, on the growth of *Medicago sativa* L. plants under different soil pollution by heavy metals and As originated from the accident at the pyrite mine was studied in pot experiments. The strongly growth acceleration and the increase of the shoot biomass of mycorrhizal plants is shown. The effect of mycorrhization on the growth of alfalfa plants was greater in the soils with the higher degree of pollution by heavy metals and As. Inoculation by isolate of metal-tolerant *Glomus mosseae* improved growth of plants more effectively in comparison with the less tolerant strain.

Key words: *Glomus mosseae* (Nicol. et Gerd.) Gerd et Trappe, heavy metals, zinc, lead, cadmium, cuprum, arsenic, mycorrhiza, alfalfa.