

ГУРАЛЬЧУК Ж.З.✉, СИЧУК А.М., ГУМЕНЮК О.В.

*Інститут фізіології рослин і генетики НАН України,  
Україна, 03022, м. Київ, вул. Васильківська, 31/17*✉ *azhanna@ukr.net***ВПЛИВ ГЕРБІЦИДІВ НА РОСЛИНИ У ЗВ'ЯЗКУ З ФОРМУВАННЯМ  
АРБУСКУЛЯРНОГО МІКОРИЗНОГО СИМБІОЗУ**

**Мета.** Метою роботи є аналіз наявних у літературі даних щодо впливу гербіцидів на формування мікоризного симбіозу. **Результати.** У статті наведено короткий огляд впливу гербіцидів із різним механізмом дії на формування та функціонування арбускулярного мікоризного симбіозу. Розглядаються прямий та опосередкований вплив гербіцидів на арбускулярні мікоризні (АМ) гриби, різна селективність АМ грибів щодо гербіцидів та інші чинники, від яких залежить дія гербіцидів на біорізноманіття грибів та утворення мікоризного симбіозу. **Висновки.** Гербіциди з різним механізмом дії можуть чинити значний вплив на різноманітність присутніх у ґрунті АМ грибів, формування та функціонування мікоризного симбіозу. При цьому їх дія на АМ гриби може бути як безпосередньою, так і опосередкованою впливом на рослину-хазяїна. АМ гриби, у свою чергу, також можуть впливати на селективність культури щодо дії гербіцидів. Дослідження впливу гербіцидів на мікоризний симбіоз можуть мати важливе значення для підвищення ефективності застосування гербіцидів.

**Ключові слова:** гербіциди, арбускулярні мікоризні гриби, мікоризний симбіоз.

Арбускулярна мікориза є взаємовигідним симбіозом між рослиною та зигоміцетними грибами [1], здатність до формування якого мають більшість видів наземних рослин. Завдяки розвитку позакореневих гіф мікоризний симбіоз поряд із фосфором може відігравати важливу роль у надходженні до рослин азоту та мікроелементів, зокрема цинку, міді, заліза. АМ гриби відіграють важливу роль у функціонуванні екосистем, зокрема у підтриманні родючості ґрунтів, поліпшенні росту та виживанні рослин [1, 2]. Антропогенні та техногенні чинники переважно негативно впливають на різноманіття біоценозів екосистем і, зокрема, на АМ гриби, які можуть бути біоіндикаторами дії різних чинників довкілля на екосистемах.

У біорізноманітності угруповань рослин і грибів визначальну роль відіграє їх взаємний вплив [3], оскільки не лише АМ гриби впливають на різноманіття, продуктивність і стабільність рослинних угруповань, але, навпаки, можуть спостерігатись і зміни угруповань грибів у відповідь на зміни різноманіття рослин [4]. Загалом же ґрунти, які знаходяться в сільськогосподарському користуванні, порівняно з природними екосистемами мають меншу щільність і різноманітність АМ грибів [5] і характеризуються, зокрема, більшою кількістю їх видів, які повільніше колонізують корені рослин, але швидше формують спори [6].

Вплив пестицидів, зокрема гербіцидів, на мікоризний симбіоз може залежати від багатьох чинників, наприклад, діючої речовини препарату, норми, способу застосування, а також погодних умов, типу ґрунту та видів рослини-хазяїна і АМ гриба [7, 8]. Вплив гербіцидів на АМ гриби може бути як безпосереднім – на утворення спор, їх проростання, інфікування коренів, так і опосередкованим – через дію на рослину-хазяїна [9, 10]. Саме від рослини АМ гриби отримують необхідні для їх життєдіяльності продукти фотосинтезу. Бурхливий розвиток сучасних методів молекулярно-біологічних досліджень відкриває більш широкі можливості для дослідження біорізноманіття АМ грибів та оцінки прямого чи опосередкованого впливу гербіцидів на функціонування мікоризного симбіозу.

Сьогодні у практиці сільського господарства особливо широкого використання набули гербіциди – інгібітори ферменту ацетолактатсинтази. Дослідження дії нікосульфурону, який є похідним сульфонілсечовини, показали, що в умовах вегетаційного досліду із повторним застосуванням екстремально високих доз гербіциду спостерігалось зменшення маси рослин кукурудзи, ступеня їх інфікування АМ грибами та різноманітності АМ грибів за 100- та 1000-разового перевищення норми внесення [11]. На противагу цьому, в польових умовах за внесен-

ня більш реалістичних доз не виявлено дії нікосульфурону на АМ гриби. Молекулярно-біологічні дослідження показали, що більшість АМ грибів належала до роду *Glomus* і була чутливою до високих рівнів нікосульфурону, який накопичувався в ґрунті за повторного використання. При цьому представники родини *Paraglomeraceae* і *Glomus etunicatum* W.N. Becker & Gerd. (родина *Glomeraceae*) були присутні в коренях кукурудзи за всіх доз гербіциду і кратності його застосування, що свідчить про толерантність до стресу, індукованого нікосульфуроном.

Загалом негативний ефект нікосульфурону на АМ гриби, викликаний найвищими його дозами у вегетаційному досліді, може бути зумовленим як його токсичністю для АМ грибів, так і дією на рослини, що має подальші наслідки для мікоризного симбіозу. В досліді з іншими інгібіторами АЛС, імідазолінонами імазаквіном й імазетапіром, за низьких та середніх концентрацій гербіцидів мікоризовані рослини сорго менше постраждали від токсичності гербіцидів, ніж немікоризовані [12]. Застосування в найвищих концентраціях імазетапіру, але не імазаквіну, зменшило швидкість колонізації АМ грибами коренів сорго.

Під час вивчення дії гербіцидних препаратів, механізм дії яких полягає в дезорганізації фотосинтезу (симазину, дихлорбенілу та параквату), на мікоризовані або ж немікоризовані рослини яблуні було виявлено більш різку реакцію мікоризованих рослин, оскільки маса їх коренів за дії гербіцидів була меншою, ніж за відсутності мікоризи. При цьому гербіциди не впливали на ступінь інфікування коренів АМ грибами [13]. Імовірно, вищезгадані гербіциди є більш токсичними для рослин яблуні, ніж для АМ грибів, і використаний у дослідженнях *Glomus versiforme* (P. Karst.) S.M. Verch збільшував поглинання гербіцидів коренями. Таке припущення підтримується даними Нельсона, Хана [14], які вивчали здатність *Glomus intraradices* Schenck & Smith, *G. vesiculiferum* Thaxter та автохтонних АМ грибів впливати на поглинання і транслокацію у рослини кукурудзи  $^{14}\text{C}$ -атразину, який, як і симазин, є інгібітором транспорту електронів у фотосистемі 2. В їх експериментах поглинання гербіциду кореневими системами, інфікованими чи не інфікованими АМ грибами, було зіставним із поглинанням системою гіф АМ грибів. При цьому кількість  $^{14}\text{C}$ -атразину, перенесеного до рослини, тісно корелювала з рівнем інфікування коренів

АМ грибами, який варіював залежно від їх виду.

Важливим є і те, що АМ симбіоз може змінювати компартментацію та впливати на метаболічну трансформацію гербіциду, про що судили на основі відмінностей у співвідношенні кількостей зв'язаного та екстрагованого метанолом  $^{14}\text{C}$ -атразину в тканинах кукурудзи [14]. Безпосередня роль гіф іншого АМ гриба, *Glomus epigaeus* (Daniels and Trappe), у поглинанні атразину рослинами кукурудзи була продемонстрована за допомогою двокамерної системи, де лише гіфи гриба мали доступ до ґрунту, обробленого  $^{14}\text{C}$ -атразином [15]. Дані цих експериментів свідчать про значення мікоризи для ефективності атразину в аграрних системах та селективності сільськогосподарських культур щодо його дії.

У досліді [15] за інфікування АМ грибом також зростало поглинання коренями кукурудзи та сої трифлураліну, похідного динітроаніліну, який є інгібітором клітинного поділу. Сікейра та співавт. [12] показали негативний вплив іншого динітроанілінового похідного пендіметаліну в концентраціях 175 і 350 мг/кг ґрунту на колонізацію коренів сорго АМ грибом *Glomus intraradices*. За нижчої концентрації (87,5 мг/кг ґрунту) негативний ефект гербіциду на масу сирої речовини коренів сорго компенсувався колонізацією АМ грибами.

Для 2М-4Х (2-метил-4-хлорофеноксіоцтова кислота) або інших ауксиноподібних гербіцидів отримано неоднозначні результати щодо їх дії на АМ симбіоз [16], що, вірогідно, пов'язано з різними експериментальними умовами, за яких застосовували гербіциди [17]. Дослідженнями Гарсія-Ромеро та Окампо [16] показано інгібування росту рослин гороху за застосування 2М-4Х в дозі 120 ppm. Ступінь інфікування АМ грибами коренів рослин гороху, інокульованих *Glomus mosseae* (Nicol. & Gerd.) Gerd. & Trappe, зменшувався за внесення високої дози 2М-4Х (120 ppm), тоді як за інокуляції автохтонними ендofітами інгібування спостерігалось уже за меншої дози гербіциду – 12 ppm. При цьому *Glomus mosseae* може пом'якшити негативний вплив 2М-4Х за внесення останнього у середній (12 ppm), але невисокій (120 ppm) дозі.

На противагу цим даним, Лекберг та співавт. [18] показали, що дія на АМ гриби ауксиноподібного гербіциду піклораму, який є похідним піколінової кислоти, проявлялася лише тоді, коли він викликав кількісні та якісні зміни

рослин-хазяїв. Піклорам може чинити глибокий непід час його застосуванні.

Деякими дослідниками [19] було виявлено зменшення біорізноманіття АМ грибів за обробки рослин пшениці іншим ауксиноподібним гербіцидом – 2,4-Д, який чинив негативний ефект на число спор у ґрунті та ступінь інфікування коренів. Цей ефект посилювався зі збільшенням норми застосування гербіциду до дворазової. Аналогічний вплив на АМ гриби та формування мікоризного симбіозу в їх експериментах було отримано і за внесення грамініциду феноксапроп-*P*-етилю, який є інгібітором ферменту ацетил-КоА-карбоксилази, що бере участь у синтезі жирних кислот.

Дані про вплив гліфосату – гербіциду інгібітора активності ферменту 5-енолпірувілшикімат-3-фосфатсинтази, – який бере участь у синтезі ароматичних кислот, на колонізацію коренів є суперечливими [20–22]. Щодо дії гліфосату на проростання спор, то спостерігали інгібування проростання [21] чи відсутність ефекту [10, 23]. Малті та співавтори [21] виявили, що гліфосат пригнічує проростання спор АМ грибів у культуральному середовищі, але не за внесення у ґрунт перед посівом сої. При цьому ефект залежить від виду АМ гриба. Спостерігалася тенденція до зниження інгібування проростання спор від *Claroideoglossum etunicatum* (Becker & Gerd.) Walker & Schüßler до *Scutellospora heterogama* (Nicol. & Gerd.) Walker & Sanders і *Gigaspora margarita* Becker & Hall [21].

У модельних дослідах показано [24], що гліфосат за його внесення безпосередньо в ґрунт у кількості, еквівалентній 0,8 і 3 л/га, за 30-добової експозиції зменшував життєздатність спор АМ грибів і відсоток інфікування коренів. Крім того, за застосування у вищій дозі цей гербіцид впливав на функціонування мікоризного симбіозу, оскільки пригнічував утворення арбускул, через які головним чином відбувається обмін поживними речовинами між АМ грибом і рослиною. Порівняння прямої (внесення у ґрунт) і непрямой (обприскування рослин) дії гліфосату показало, що його вплив на життєзда-

тність спор є прямим і виявляється лише за внесення у ґрунт [9], а також, як було показано у подальших польових дослідженнях, залежить від виду АМ гриба (з присутніх у ґрунті більш чутливими були *Funneliformis caledonium* (Nicol. & Gerd.) Walker & Schüßler та *Septoglossum constrictum* Trappe порівняно з *Funneliformis mosseae* (Nicol. & Gerd.) Walker & Schüßler і *Claroideoglossum etunicatum* (Becker & Gerd.) Walker & Schüßler [20]. Це вказує на те, що хоч гліфосат і може виділятися коренями оброблених рослин [25], його кількість, очевидно, є недостатньою для того, щоб вплинути на життєздатність спор АМ грибів.

Результати дослідження впливу АМ грибів на ефективність гербіцидів поряд із відомостями, отриманими в ході вивчення впливу гербіцидів із різним механізмом дії на різноманітність АМ грибів, формування та функціонування мікоризного симбіозу можуть мати важливе значення для підвищення ефективності застосування гербіцидів. На думку деяких дослідників [26], поліпшення контролювання бур'янів за допомогою АМ грибів, як і дані щодо впливу гербіцидів на АМ симбіоз, можуть бути додатковим чинником у прийнятті рішень щодо захисту культур. Однак це питання ще маловивчене і є перспективним для подальшого дослідження.

### Висновки

Гербіциди з різним механізмом дії можуть чинити значний вплив на різноманітність присутніх у ґрунті АМ грибів, формування та функціонування мікоризного симбіозу. При цьому їх дія на АМ гриби може бути як безпосередньою, так і опосередкованою впливом на рослину-хазяїна. АМ гриби, у свою чергу, також можуть впливати на прояв фітотоксичності гербіцидів. Вплив гербіцидів на мікоризний симбіоз може залежати від багатьох чинників: діючої речовини препарату, норми, способу застосування, видів рослини-хазяїна і АМ гриба тощо. Дослідження впливу гербіцидів на мікоризний симбіоз можуть мати важливе значення для підвищення ефективності застосування гербіцидів.

### Література

1. Barea J.M., Jeffries P. Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil plant system. *Mycorrhiza: Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology* / Varma A., Hock B. eds. Springer-Verlag, Heidelberg, 1995. P. 521–559.
2. Гуральчук Ж.З. Роль арбускулярних микориз в питанні растений и устойчивости к тяжелым металлам. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2004. Т. 36, вып. 3. С. 217–228.
3. Kernaghan G. Mycorrhizal diversity: Cause and effect? *Pedobiologia*. 2005. Vol. 49, No. 6. P. 511–520.
4. Burrows R.L., Pflieger F.L. Arbuscular mycorrhizal fungi respond to increasing plant diversity. *Canadian J. Bot.* 2002. Vol. 80, No. 2. P. 120–130.

5. Menendez A.B., Scervino J.M., Godeas A.M. Arbuscular mycorrhizal populations associated with natural and cultivated vegetation on a site of Buenos Aires province, Argentina. *Biology and Fertility of Soils*. 2001. Vol. 33. P. 373–381.
6. Oehl F., Sieverding E., Ineichen K., Mader P., Boller T., Wiemken A. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. *Applied and Environmental Microbiology*. 2003. Vol. 69, No. 5. P. 2816–2824.
7. Schalamuk S., Druille M., Cabello M. Hongos formadores de micorrizas arbusculares: Influencia de las practicas agronomicas sobre su diversidad y dinamica de colonizacion. *Rizosfera, Biodiversidad y Agricultura Sostenible*. Garcia de Salamone I.E., Vasquez S., Penna C., Cassan F.D. eds. Buenos Aires: Asociacion Argentina de Microbiologia, 2013. P. 43–71.
8. Menendez A., Martinez A., Chiochio V., Venedikian N., Ocampo J.A., Godeas A. Influence of insecticide dimethoate on arbuscular mycorrhizal colonization and growth in soybean plants. *International Microbiology*. 1999. Vol. 2. P. 43–45.
9. Druille M., Omacini M., Golluscio R.A., Cabello M.N. Arbuscular mycorrhizal fungi are directly and indirectly affected by glyphosate application. *Appl. Soil Ecol*. 2013. 72. P. 143–149.
10. Pasarihu A., Mohamad R.B., Awang Y., Othman R., Puteh A. Growth and development of symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi, *Glomus mosseae* (Nicol. and Gerd.), in alachlor and glyphosate treated soils. *African Journal of Biotechnology*. 2011. Vol. 10, No. 55. P. 11520–11526.
11. Karpouzasa D.G., Papadopoulou E., Ipsilantisc I., Friedeld I., Petrice I., Udikovic-Kolice N., Djuricf S., Kandelerg E., Menkissoglu-Spiroudib U., Martin-Laurent F. Effects of nicosulfuron on the abundance and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi used as indicators of pesticide soil microbial toxicity. *Ecological Indicators*. 2014. Vol. 39. P. 44–53.
12. Siqueira J.O., Safir G.R., Nair M.G. VA-mycorrhizae and mycorrhiza stimulating isoflavonoid compounds reduce plant herbicide injury. *Plant Soil*. 1991. Vol. 134. P. 233–242.
13. Hamel C., Morin F., Fortin A., Granger R.L., Smith D.L. Mycorrhizal colonization increases herbicide toxicity in apple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*. 1994. Vol. 119, No. 6. P. 1255–1260.
14. Nelson Sh.D., Khan Sh.U. Uptake of atrazine by hyphae of *Glomus vesicular-arbuscular* mycorrhizae and root systems of corn (*Zea mays* L.). *Weed Science*. 1992. Vol. 40, No. 1. P. 161–170.
15. Nedumpara M.J., Moorman T.B., Jayachandran K. Effect of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus epigaeus*) on herbicide uptake by roots. *Biology and Fertility of Soils*. 1999. Vol. 30, No. 1–2. P. 75–82.
16. Garcia-Romero I., Ocampo J.A. Effect of the herbicide MCPA on VA mycorrhizal infection and growth of *Pisum sativum*. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk*. 1988. Vol. 151. P. 225–228.
17. Trappe J.M., Molina R., Castellano M. Reactions of mycorrhizal fungi and mycorrhiza formation to pesticides. *Ann. Rev. Phytopathol*. 1984. Vol. 22. P. 331–359.
18. Lekberg Y., Wagner V., Rummel A., McLeod M., Ramsey Ph.W. Strong indirect herbicide effects on mycorrhizal associations through plant community shifts and secondary invasions. *Ecological Applications*. 2017. Vol. 27, No. 8. P. 2359–2368.
19. Gupta A., Aggarwal A., Mangla Ch., Kumar A., Tanwar A. Effect of herbicides Fenoxaprop-P-ethyl and 2,4-D Ethyl-ester on soil mycoflora including VAM fungi in wheat crop. *Indian J. Weed Sci*. 2011. Vol. 43, 1–2. P. 32–40.
20. Druille M., Cabello M.N., Parisi P.A.G., Golluscio R.A. Glyphosate vulnerability explains changes in root-symbionts propagules viability in pampean grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2015. Vol. 202. P. 48–55.
21. Maly J.D.S., Siqueira J.O., Moreira F.M.D.S. Efeitos do glifosato sobre microorganismos simbiotoficos de soja, em meio de cultura e casa de vegetacao. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 2006. Vol. 41. P. 285–291 [цит. за 10].
22. Zaller J.G., Heigl F., Ruess L., Grabmaier A. Glyphosate herbicide affects belowground interactions between earthworms and symbiotic mycorrhizal fungi in a model ecosystem. *Sci. Rep*. 2014. Vol. 4. P. 5634.
23. Giovannetti M., Turrini A., Strani P., Sbrana C., Avio L., Pietrangeli B. Mycorrhizal fungi in ecotoxicological studies: soil impact of fungicides, insecticides and herbicides. *Prevention Today*. 2006. Vol. 2, No. 1–2. P. 47–62.
24. Druille M., Cabello M.N., Omacini M., Golluscio R.A. Glyphosate reduces spore viability and root colonization of arbuscular mycorrhizal fungi. *Appl. Soil Ecol*. 2013. Vol. 64. P. 99–103.
25. Neumann G., Kohls S., Landsberg E., Stock-Oliveira Souza K., Yamada T., Romheld V. Relevance of glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere. *J. Plant Dis. Protect*. 2006. Vol. 20. P. 963–969.
26. Li M., Jordan N.R., Koide R.T, Yannarell A.C., Davis A.S. Meta-analysis of crop and weed growth responses to arbuscular mycorrhizal fungi: Implications for integrated weed management. *Weed Science*. 2016. Vol. 64, No. 4. P. 642–652.

## References

1. Barea J.M., Jeffries P. Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil plant system. *Mycorrhiza: Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology*. Varma A., Hock B. eds. Springer-Verlag, Heidelberg, 1995. P. 521–559.
2. Guralchuk Zh.Z. Role of arbuscular mycorrhiza in plant nutrition and resistance to heavy metals. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*. 2004. Vol. 36, No. 3. P. 217–228.
3. Kernaghan G. Mycorrhizal diversity: Cause and effect? *Pedobiologia*. 2005. Vol. 49, No. 6. P. 511–520.
4. Burrows R.L., Pflieger F.L. Arbuscular mycorrhizal fungi respond to increasing plant diversity. *Canadian J. Bot*. 2002. Vol. 80, No. 2. P. 120–130.
5. Menendez A.B., Scervino J.M., Godeas A.M. Arbuscular mycorrhizal populations associated with natural and cultivated vegetation on a site of Buenos Aires province, Argentina. *Biology and Fertility of Soils*. 2001. Vol. 33. P. 373–381.
6. Oehl F., Sieverding E., Ineichen K., Mader P., Boller T., Wiemken A. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. *Applied and Environmental Microbiology*. 2003. Vol. 69, No. 5. P. 2816–2824.

7. Schalamuk S., Druille M., Cabello M. Hongos formadores de micorrizas arbusculares: Influencia de las practicas agronomicas sobre su diversidad y dinamica de colonizacion. *Rizosfera, Biodiversidad y Agricultura Sostenible*. Garcia de Salamone I.E., Vasquez S., Penna C., Cassan F.D. eds. Buenos Aires: Asociacion Argentina de Microbiologia, 2013. P. 43–71.
8. Menendez A., Martinez A., Chiochio V., Venedikian N., Ocampo J.A., Godeas A. Influence of insecticide dimethoate on arbuscular mycorrhizal colonization and growth in soybean plants. *International Microbiology*. 1999. Vol. 2. P. 43–45.
9. Druille M., Omacini M., Golluscio R.A., Cabello M.N. Arbuscular mycorrhizal fungi are directly and indirectly affected by glyphosate application. *Appl. Soil Ecol.* 2013. 72. P. 143–149.
10. Pasaribu A., Mohamad R.B., Awang Y., Othman R., Puteh A. Growth and development of symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi, *Glomus mosseae* (Nicol. and Gerd.), in alachlor and glyphosate treated soils. *African Journal of Biotechnology*. 2011. Vol. 10, No. 55. P. 11520–11526.
11. Karpouzasa D.G., Papadopoulou E., Ipsilantisc I., Friedeld I., Petrice I., Udikovic-Kolice N., Djuricf S., Kandelerg E., Menkissoglu-Spiroudib U., Martin-Laurent F. Effects of nicosulfuron on the abundance and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi used as indicators of pesticide soil microbial toxicity. *Ecological Indicators*. 2014. Vol. 39. P. 44–53.
12. Siqueira J.O., Safir G.R., Nair M.G. VA-mycorrhizae and mycorrhiza stimulating isoflavonoid compounds reduce plant herbicide injury. *Plant Soil*. 1991. Vol. 134. P. 233–242.
13. Hamel C., Morin F., Fortin A., Granger R.L., Smith D.L. Mycorrhizal colonization increases herbicide toxicity in apple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1994. Vol. 119, No. 6. P. 1255–1260.
14. Nelson Sh.D., Khan Sh.U. Uptake of atrazine by hyphae of *Glomus vesicular-arbuscular* mycorrhizae and root systems of corn (*Zea mays* L.). *Weed Science*. 1992. Vol. 40, No. 1. P. 161–170.
15. Nedumpara M.J., Moorman T.B., Jayachandran K. Effect of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus epigaeus*) on herbicide uptake by roots. *Biology and Fertility of Soils*. 1999. Vol. 30, No. 1–2. P. 75–82.
16. Garcia-Romero I., Ocampo J.A. Effect of the herbicide MCPA on VA mycorrhizal infection and growth of *Pisum sativum*. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.* 1988. Vol. 151. P. 225–228.
17. Trappe J.M., Molina R., Castellano M. Reactions of mycorrhizal fungi and mycorrhiza formation to pesticides. *Ann. Rev. Phytopathol.* 1984. Vol. 22. P. 331–359.
18. Lekberg Y., Wagner V., Rummel A., McLeod M., Ramsey Ph.W. Strong indirect herbicide effects on mycorrhizal associations through plant community shifts and secondary invasions. *Ecological Applications*. 2017. Vol. 27, No. 8. P. 2359–2368.
19. Gupta A., Aggarwal A., Mangla Ch., Kumar A., Tanwar A. Effect of herbicides Fenoxaprop-P-ethyl and 2,4-D Ethyl-ester on soil mycoflora including VAM fungi in wheat crop. *Indian J. Weed Sci.* 2011. Vol. 43, 1–2. P. 32–40.
20. Druille M., Cabello M.N., Parisi P.A.G., Golluscio R.A. Glyphosate vulnerability explains changes in root-symbionts propagules viability in pampean grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2015. Vol. 202. P. 48–55.
21. Maly J.D.S., Siqueira J.O., Moreira F.M.D.S. Efeitos do glifosato sobre microorganismos simbioticos de soja, em meio de cultura e casa de vegetacao. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 2006. Vol. 41. P. 285–291 [цит. за 10].
22. Zaller J.G., Heigl F., Ruess L., Grabmaier A. Glyphosate herbicide affects belowground interactions between earthworms and symbiotic mycorrhizal fungi in a model ecosystem. *Sci. Rep.* 2014. Vol. 4. P. 5634.
23. Giovannetti M., Turrini A., Strani P., Sbrana C., Avio L., Pietrangeli B. Mycorrhizal fungi in ecotoxicological studies: soil impact of fungicides, insecticides and herbicides. *Prevention Today*. 2006. Vol. 2, No. 1–2. P. 47–62.
24. Druille M., Cabello M.N., Omacini M., Golluscio R.A. Glyphosate reduces spore viability and root colonization of arbuscular mycorrhizal fungi. *Appl. Soil Ecol.* 2013. Vol. 64. P. 99–103.
25. Neumann G., Kohls S., Landsberg E., Stock-Oliveira Souza K., Yamada T., Romheld V. Relevance of glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere. *J. Plant Dis. Protect.* 2006. Vol. 20. P. 963–969.
26. Li M., Jordan N.R., Koide R.T., Yannarell A.C., Davis A.S. Meta-analysis of crop and weed growth responses to arbuscular mycorrhizal fungi: Implications for integrated weed management. *Weed Science*. 2016. Vol. 64, No. 4. P. 642–652.

#### GURALCHUK Zh.Z., SYCHUK A.M., GUMENYUK O.V.

*Institute of Plant Physiology and Genetics of Natl. Acad. Sci. of Ukraine, Ukraine, 03022, Kyiv, Vasylkivska str., 31/17, e-mail: azhanna@ukr.net*

#### INFLUENCE OF HERBICIDE ON PLANTS IN CONNECTION WITH FORMATION OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL SYMBIOSIS

**Aim.** The aim of the work is to analyze the available literature data on the effect of herbicides on the formation of mycorrhizal symbiosis. **Results.** The article gives a brief overview of the influence of herbicides with different mechanism of action on the formation and functioning of arbuscular mycorrhizal symbiosis. The direct and indirect effects of herbicides on the AM fungi, the different selectivity of AM fungi to herbicides and other factors influencing the effect of herbicides on biodiversity of AM fungi and the formation of mycorrhizal symbiosis are considered. **Conclusions.** Herbicides with different mechanism of action can have a significant effect on the diversity of AM fungi present in the soil, the formation and functioning of mycorrhizal symbiosis. Their effect on the AM fungi can be either direct or indirect due to the influence on the host plant. AM fungi, in turn, can also influence the selectivity of the plant to herbicides. Studies on the effect of herbicides on mycorrhizal symbiosis may be important for increasing the herbicide efficiency.

**Keywords:** herbicides, arbuscular mycorrhizal fungi, mycorrhizal symbiosis.