

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.27.25>

УДК 712:582.28

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МІКОРИЗНИХ ГРИБІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Джаган Вероніка Володимирівна¹, Петльована Вікторія Ростиславівна²

¹Кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри біології рослин
Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна,
e-mail: veronikadzhan@knu.ua, orcid: 0000-0002-7229-5878

²Кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри біології рослин
Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна,
e-mail: petlovana@knu.ua, orcid: 0000-0001-5056-0813

Анотація. Мета. Метою статті є проведення аналізу відомих на тепер даних щодо ролі мікоризних грибів у стійкості зелених насаджень до антропогенного навантаження, перспективи їх використання в озелененні міст. Здатність деревних рослин відносно успішно зростати та розвиватися в екстремальних умовах урбанізованих територій пов'язана з реалізацією адаптивних можливостей і видоспецифічністю деревних рослин, особливостями формування та будови їхньої кореневої системи. Велику роль у формуванні та стійкості кореневих систем деревних порід виконує мікоризний симбіоз. Мікориза покращує ріст і життєздатність рослин, а також може захистити рослини від токсичних сполук. Гіфи грибів взаємодіють із клітинами кореня, утворюють взаємовигідну біотрофну асоціацію, де рослини постачають мікопартнеру джерело вуглецю й енергію у формі карбогідратів, тоді як мікоризні гриби збільшують площу поглинання кореневої системи та транспортування води та розчинених у ній мінеральних поживних речовин із ґрунтового розчину до рослини. Стресові чинники міського середовища можуть призвести до зменшення або зміни складу мікоризних симбіонтів порівняно із природними екосистемами. Незважаючи на активне дослідження мікориз урбанізованих територій, усе ще немає чіткого уявлення про характер реакції грибних партнерів рослин на різні техногенні забруднення й особливості мікоризного симбіозу. Додаткові поглиблені дослідження мікоризного статусу зелених насаджень міст необхідні для розширення знань про зв'язки між конкретними умовами зростання рослини та кількістю й різноманітністю мікоризи. Внесення як біодобрива штучного грибного інокулюма з відповідним видовим складом симбіонтів значно покращить стійкість і витривалість рослин, що використовують в озелененні міст.

Ключові слова: арбускулярна мікориза, ектомікориза, зелені насадження, міське середовище, мікоризація рослин урбанізованих територій.

ВСТУП

Міське середовище є агресивним біомом для всіх живих організмів. Навколо та в межах великих промислових центрів створюється своєрідна екологічна ситуація, з характерним для неї високим рівнем забруднення повітря різними токсикантами навколишнього середовища (вуглеводні, оксиди сірки й азоту, важкі метали та їх сполуки тощо). Унаслідок впливу техногенного забруднення на природні екосистеми спостерігається значна деградація всіх елементів біоти, зелених насаджень також, знижується загальна фітомаса та видова насиченість цих насаджень [11]. Не всі живі організми здатні існувати в умовах великих міст, насамперед це стосується рослин і грибів. Сильна загазованість, підвищений вміст ксенобіотиків і пилу в повітрі, витоптування верхніх горизонтів ґрунту, швидка випаровуваність вологи тощо пригнічують стан і скорочують термін життя рослин. У великих населених пунктах для озеленення та благоустрою намагаються висаджувати найбільш стійкі до таких чинників рослини. Проте міські дерева, висаджені вздовж вулиць, у міських парках та інших міських зелених насадженнях, страждають від обмеженої кореневої зони, низької пористості та вологості ґрунту, обмеженої доступності мінеральних поживних речовин, підвищеної температури, забруднення повітря та ґрунту [11]. Ці умови міського середовища призводять до зменшення динаміки росту коренів дерев, зміни хімічних, фізичних і біологічних властивостей ґрунту [16].

Здатність деревних рослин відносно успішно зростати та розвиватися в екстремальних умовах міст пов'язана з реалізацією адаптивних можливостей та видовою специфічністю деревних рослин. Стійкість і успішне проростання рослин в умовах міського забруднення залежать від особливостей формування та будови кореневої системи. Велику роль у формуванні та стійкості кореневих систем деревних порід до антропогенного впливу відіграє мікоризний симбіоз [2; 4; 5; 11; 12].

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мікориза – тісна асоціація між корінням наземних рослин і ґрунтовими грибами, гіфи яких різною мірою проникають у первинну кору кореня й утворюють специфічні мікоризні структури. Клітини кореня водночас не виявляють жодних патологічних симптомів і зберігають свої характерні особливості. Такий вид двосторонньої корисної взаємодії, відомий також як «мутуалістична асоціація», є одним

із найбільш поширених і екологічно важливих [4; 6; 14].

Загально визнаною є роль мікориз у походженні та подальшій диверсифікації наземних рослин [6; 17]. На основі структури, функції та грибних партнерів виділяють різні типи мікориз (усього 7 типів): арбускулярну, ектомікоризу, ерикоїдну, мікоризу орхідних тощо. Більшість існуючих наземних рослин (>90%) є «мікоризними», вони утворюють одну або декілька із цих асоціацій.

Арбускулярна мікориза (далі – АМ) є найдавнішою (~450 мільйонів років) та відіграла значну роль у колонізації суші судинними рослинами в ордовіцький період [6]. Вона також є найбільш поширеним типом мікориз наземних рослин у природі. АМ-гриби (приблизно 230 видів відділу Glomeromycota) утворюють мікоризу із приблизно 80% рослин у природних і агроекосистемах, включаючи трави, кущі та дерева (наприклад, *Acer* spp., *Fraxinus* spp., *Platanus* spp., *Aesculus* spp., *Tilia* spp.) [13]. Лише рослини деяких родин не утворюють АМ, зокрема представники Brassicaceae, Caryophyllaceae (наприклад, *Dianthus* spp.), Proteaceae (*Banksia* spp.) і Chenopodiaceae (наприклад, *Atriplex* spp.) [3; 5]. Гриби, що утворюють АМ, зазвичай виробляють великі спочиваючі спори, які можна візуально спостерігати у прикореневій зоні рослини та використовувати для ідентифікації видів відділу Glomeromycota. Також АМ-гриби утворюють специфічні органи передачі поживних речовин у клітинах коренів, які називаються арбускулами. Іноді деякі АМ-гриби здатні виробляти органи запасання (везикули) між клітинами коренів, завдяки чому в минулому їх називали везикулярно-арбускулярними мікоризними грибами (VAM).

Інші типи симбіотичних асоціацій утворюються грибами відділів Ascomycota та Basidiomycota. Гриби ектомікоризи (далі – ЕкМ) розвивають симбіотичні асоціації на численних родах дерев, зокрема й тих, які зазвичай трапляються в розсадниках і штучних ландшафтах, переважно із хвойними деревами, як-от *Pinus* spp., *Picea* spp., *Abies* spp., *Larix* spp., а також із широколистяними деревами, як-от *Betula* spp., *Carpinus* spp., *Fagus* spp., *Quercus* spp., *Populus* spp. тощо. На відміну від великих спочиваючих спор, утворених АМ-грибами, спори грибів ЕкМ дрібні, утворюються в м'ясистих плодкових тілах різного типу, розповсюджуються вітром. ЕкМ-гриби утворюють навколо кореня рясну оболонку з гіф міцелію, відому як «сітка Хартіга», яка

є основним міжклітинним органом передачі поживних речовин. Колонізовані кінчики коренів можуть бути яскраво забарвленими, часто роздутими та сильно розгалуженими, видозмінюють зовнішній вигляд кореня [9; 13].

Більшість наукових публікацій присвячено мікоризам лісових фітоценозів, тоді як досліджень щодо реакції мікориз на антропогенний вплив та їхньої участі в оптимізації зелених насаджень міст натеper не досить.

МЕТА

Проаналізувати відомі натеper дані щодо ролі мікоризних грибів у стійкості зелених насаджень до антропогенного навантаження та перспективи використання мікоризи в озелененні урбанізованих територій.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Мікориза покращує ріст і життєздатність рослин, а також може захистити рослини від токсичних сполук, від фітопатогенних мікроорганізмів тощо [2; 16]. Особливо важлива мікориза для рослин-господарів, які ростуть на бідних поживними речовинами ґрунтах. Гіфи грибів взаємодіють із клітинами кореня, утворюють взаємовигідну біотрофну асоціацію, де рослини постачають мікопартнеру джерело вуглецю й енергію у формі карбогідратів (вуглеводів), тоді як мікоризні гриби збільшують площу поглинання кореневої системи та транспортування води та мінеральних поживних речовин (фосфор, азот, цинк) із ґрунтового розчину до симбіотичної рослини.

Деякі ЕкМ-гриби виробляють ферменти, які забезпечують доступ поживних речовин у ґрунті з органічних джерел, як-от білки або ДНК, які зазвичай недоступні для дерев, тим самим покращують їхню конкурентоспроможність [6].

У природі цей симбіоз допомагає рослинам приживатися в районах з бідними ресурсами та покращує здатність хазяїна конкурувати із ґрунтовими мікробами й іншими рослинами за обмеження таких поживних речовин, як азот і фосфор. Мікоризні рослини зазвичай мають вищі показники виживання, підвищений ріст і продуктивність, а також покращений статус поживних речовин порівняно з немікоризними рослинами.

Відомо, що видове розмаїття та чисельність видів грибів у ґрунті міських екосистем є нижчим порівняно із сільською місцевістю [12]. На мікоризні гриби можуть впливати безпосередньо рН ґрунту, низька доступність поживних речовин, висока концентрація до-

ступних мікроелементів, підвищений вміст азоту у ґрунті та посуха. Дещо опосередковано цей вплив може здійснюватися через рослину-господаря, через зменшення розподілу вуглецю до коренів після передчасного пожовтіння листя або втрати листя внаслідок дії забруднювачів різного походження. Зменшення доступності вуглеводів може зменшити утворення тонких коренів, які можуть утворити мікоризні асоціації [9]. Стресові чинники міського середовища можуть призвести до зменшення або зміни складу мікоризних симбіонтів порівняно із природними екосистемами [4; 11]. На ріст коренів і мікоризу також негативно впливає погана аерація ґрунту, яка безпосередньо пов'язана з текстурою ґрунту.

Роботи, пов'язані з виявленням мікоризних партнерів молекулярними методами, які натеper дають найбільш об'єктивну інформацію про коло симбіонтів рослин, поки що нечисленні [8; 10]. Більшість робіт із вивчення симбіозу присвячена практичним аспектам мікоризи лісових екосистем, зокрема показано підвищену стійкість мікоризованих саджанців до засолення ґрунту, до посухи, підвищення фотосинтетичної активності рослин порівняно з неінокульованим контролем [7]. Ці дослідження свідчать про те, що мікориза відіграє важливу роль у житті рослин. Досліджень мікоризного статусу дерев, що зростають у великих містах, значно менше, а наведені в них дані не є однотайними щодо мікоризного симбіозу в умовах міста.

Міське середовище – це сильно порушені та фрагментовані екосистеми, які зазвичай мають меншу кількість і різноманітність мікоризних видів грибів порівняно із сільськими або природними екосистемами. Так, на прикладі *Tilia* spp., *Quercus* spp., *Acer rubrum* було продемонстровано зменшення кількості та різноманітності мікоризних видів у кореневих системах міських видів рослин, порівняно із сільською місцевістю та природними лісами [16]. L. Vainard [1] зі співавторами досліджували мікоризний статус 26 видів дерев, що ростуть у міському та сільському середовищах, і виявили, що деякі з них мали нижчу, а деякі – вищу колонізацію АМ або ЕкМ грибами в міському середовищі, а в коренях кількох видів різниця між міськими та сільськими була незначна. Вивчення ектомікоризних симбіонтів у коренях *Tilia cordata*, вирощених уздовж завантажених вулиць і в розпліднику, показало, що дерева у двох середовищах мали різний видовий склад ектомікоризних симбіонтів [15]. Оцінку мікоризної колонізації

коренів дорослих дерев *Aesculus hippocastanum* L., *Populus alba* L. та *Populus nigra* L., що зростають в умовах різної інтенсивності антропогенного навантаження (висаджені вздовж вулиць і в міських парках) міста Бидгош (Польща) та в сільській місцевості (еталонні ділянки), проводили J. Tyburska та інші. [16]. Результати їхніх досліджень показали, що коріння *A. hippocastanum* були колонізовані арбускулярними мікоризними грибами (далі – АМ), рівень колонізації у травні був вищий, ніж у жовтні, незалежно від середовища існування. Автори зазначають тенденцію до нижчого рівня заселення АМ коренів гіркокаштану звичайного в міському середовищі. Два види тополь (біла та чорна) були колонізовані як АМ, так і ЕкМ грибами, незалежно від середовища існування, за винятком *P. nigra*, що зростали поблизу транспортної вулиці та мали лише ЕкМ-тип мікоризи. Інтенсивність заселення АМ у коренях двох видів тополь була значно нижчою в порушених міських біотопах, ніж у сільській місцевості. Колонізація ЕкМ білої тополі не відрізнялася між міським і сільським середовищем, а в коренях чорної тополі вона на міських ділянках була нижчою, ніж на контрольній ділянці. Отже, результати показали, що мікоризні гриби міських середовищ існування здатні розвивати ефективний симбіоз зі зрілим корінням дерев. Автори припускають, що чинники навколишнього середовища, як-от наявність води, поживних речовин, виробництво та розподіл вуглеводів, є найважливішими умовами, що впливають на мікоризну колонізацію міських дерев [16]. Мікоризні гриби (АМ і ЕкМ), що трапляються в міських екосистемах, здатні розвивати рясну мікоризну колонізацію в міських зелених зонах і значно нижчу в сильно порушених територіях міста, що підлягають антропогенному навантаженню.

Гриби ЕкМ, на думку авторів, більш толерантні до міського середовища, ніж гриби АМ, однак велика кількість мікоризи в коренях дерев і стійкість до несприятливих умов навколишнього середовища сильно залежать від генотипу дерева. Симбіотична активність мікоризних грибів на порушених міських ділянках може, безумовно, підтримуватися основними методами обробки ґрунту [16].

Незважаючи на активні дослідження ектомікориз урбанізованих територій, дотепер немає однозначного уявлення про характер реакції ектомікоризи на різні техногенні чинники, її ролі у визначенні стійкості рослин до антропогенних навантажень.

В умовах інтенсивного забруднення з накопиченням летальних доз токсикантів із часом спостерігається загибель мікориз. Це дозволяє припустити високу антропогенну толерантність мікориз і можливість існування бар'єра у вигляді мікоризних чохла, які захищають рослини від поглинання великих доз токсикантів [2; 5; 13].

Про важливість і актуальність внесення як біодобрива штучного грибного інокулюма відомо давно. Зазвичай у таких біодобривах використовують набір симбіонтів широкого спектра, без урахування спеціалізації грибів до окремих видів рослин. Проте за обізнаності щодо специфічного видового складу грибів-мікоризоутворювачів, їхньої характеристики й особливостей мікоризації можна покращити ефективність таких препаратів, підвищити стійкість і витривалість рослин, які використовуються в озелененні міст [4].

ВИСНОВКИ

Питання щодо того, чи є мікоризні гриби урбосередовищ ефективними симбіонтами міських дерев, які чинники впливають на чисельність мікосимбіонтів у ґрунтах міських зон, усе ще залишаються до кінця не з'ясованими. Додаткові поглиблені дослідження мікоризного статусу дерев міських екосистем необхідні для розширення знань про зв'язки між конкретними умовами навколишнього середовища та кількістю та різноманітністю мікоризи.

Процес мікоризоутворення відіграє важливу роль у житті деревних насаджень, є одним з основних чинників, що визначають їхню стійкість. Нехтування цього факту може призвести до неправильних рішень щодо збереження біорозмаїття, створення стійких і продуктивних фітоценозів, особливо в умовах наростання антропогенних навантажень на природні екосистеми. У зв'язку із цим особливої актуальності набувають роботи, спрямовані на оцінку впливу промислового та техногенного забруднення урбанізованих територій на мікоризні асоціації.

Вивчення функціонування мікоризного симбіозу в міських умовах дозволить прогнозувати стан штучних рослинних насаджень. Маніпулювання умовами середовища шляхом унесення специфічного грибного інокулюма на основі комплексу специфічних до кожної рослини грибів-симбіонтів, зміною водного режиму та мінерального живлення рослин можна домогтися здорового та стійкого стану зелених насаджень на території міста.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] The mycorrhizal status and colonization of 26 tree species growing in urban and rural environments / L. Bainard et al. *Mycorrhiza*. 2011. V. 21. № 2. P. 91–96. DOI: 10.1007/s00572-010-0314-6.
- [2] The potential role of arbuscular mycorrhizal fungi in protecting endangered plants and habitats / H. Bothe et al. *Mycorrhiza*. 2010. Vol. 20. № 7. P. 445–457. DOI: 10.1007/s00572-010-0332-4.
- [3] Brundrett M.C., Tedersoo L. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist*. 2018. Vol. 220. P. 1108–1115. DOI: 10.1111/nph.14976.
- [4] Ectomycorrhizal vs endomycorrhizal fungi within the same root system / G.A. Chilvers et al. *New Phytologist*. 1987. Vol. 107. P. 441–448. DOI: 10.1111/nph.14976.
- [5] Mycorrhizal symbiosis – overview and new insights into roles of arbuscular mycorrhizas in agro- and natural ecosystems / E. Facelli et al. *Australasian Plant Pathology*. 2009. Vol. 38. P. 338–344. DOI: 10.1071/AP09033.
- [6] Evolutionary dynamics of mycorrhizal symbiosis in land plant diversification / A.A. Feijen Frida et al. *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8. P. 1–7. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-28920-x>.
- [7] Effect of controlled inoculation with specific mycorrhizal fungi from the urban environment on growth and physiology of containerized shade tree species growing under different water regimes / A. Fini et al. *Mycorrhiza*. 2011. V. 21. № 8. P. 703–719. DOI: 10.1007/s00572-011-0370-6.
- [8] Gardes M., Bruns T.D. ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes – application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Molec. Ecol.* 1993. V. 2. P. 113–118. DOI: 10.1111/j.1365-294X.1993.tb00005.x.
- [9] Kernaghan G. Mycorrhizal diversity: cause and effect. *Pedobiologia*. 2005. Vol. 49. P. 511–520. DOI: 10.1016/j.pedobi.2005.05.007.
- [10] Host preferences and differential contributions of deciduous tree species shape mycorrhizal species richness in a mixed Central European forest / C. Lang et al. *Mycorrhiza*. 2011. V. 21. P. 297–308. DOI: 10.1007/s00572-010-0338-y.
- [11] Fungi and the urban environment : A review / M. Newbound et al. *Landscape and Urban Planning*. 2010. Vol. 96. P. 138–145. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2010.04.005.
- [12] Environmental effects on forest soil invertebrate and fungal densities in oak stands along an urban-rural land use gradient / R.V. Pouyat et al. *Pedobiologia*. 1994. Vol. 38. P. 385–399.
- [13] Smith S.E., Read D.J. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd Edition. London : Academic Press, 2008.
- [14] Ectomycorrhizal lifestyle in fungi: global diversity, distribution, and evolution of phylogenetic lineages / L. Tedersoo et al. *Mycorrhiza*. 2010. V. 20. P. 217–263. DOI: 10.1007/s00572-009-0274-x.
- [15] Timonen S., Kauppinen P. Mycorrhizal colonization patterns of *Tilia* trees in street, nursery and forest habitats in southern Finland. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2008. Vol. 7. № 4. P. 265–276. DOI: 10.1016/j.ufug.2008.08.001.
- [16] Mycorrhizal status of forest trees grown in urban and rural environments in Poland / J. Tyburska et al. *Ecological Questions*. 2013. Vol. 18. P. 49–57. DOI: 10.2478/ecoq-2013-0005.
- [17] Wang B., Qiu Y.L. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*. 2006. Vol. 16. P. 299–363. DOI: 10.1007/s00572-005-0033-6.

REFERENCES

- [1] Bainard, L., Klironomos, J. & Gordon, M.A. (2011). The mycorrhizal status and colonization of 26 tree species growing in urban and rural environments. *Mycorrhiza*, 21 (2), 91–96. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0314-6> [in English].
- [2] Bothe, H., Turnau, K. & Regvar, M. (2010). The potential role of arbuscular mycorrhizal fungi in protecting endangered plants and habitats. *Mycorrhiza*, 20 (7), 445–457. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0332-4> [in English].
- [3] Brundrett, M.C. & Tedersoo, L. (2018). Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist*, 220, 1108–1115. <https://doi.org/10.1111/nph.14976> [in English].
- [4] Chilvers, G.A., Lapeyrie, F.F. & Horan, D.P. (1987). Ectomycorrhizal vs endomycorrhizal fungi within the same root system. *New Phytologist*, 107, 441–448. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1987.tb00195.x> [in English].
- [5] Facelli, E., Smith, S.E. & Smith, F.A. (2009). Mycorrhizal symbiosis – overview and new insights into roles of arbuscular mycorrhizas in agro- and natural ecosystems. *Australasian Plant Pathology*, 38, 338–344. <https://doi.org/10.1071/AP09033> [in English].
- [6] Feijen, Frida A.A., Vos, Rutger A., Nuytinck Jorinde, Merckx, Vincent S.F.T. (2018). Evolutionary dynamics of mycorrhizal symbiosis in land plant diversification. *Scientific Reports*, 8, 1–7. <https://www.nature.com/articles/s41598-018-28920-x> [in English].
- [7] Fini, A., Frangi, P., Amoroso, G., Piatti R., Faoro M., Bellasio C., Ferrini F. (2011). Effect of controlled inoculation with specific mycorrhizal fungi from the urban environment on growth and physiology of containerized shade tree species growing under different water regimes. *Mycorrhiza*, 21 (8), 703–719. <https://doi.org/10.1007/s00572-011-0370-6> [in English].
- [8] Gardes, M. & Bruns T.D. (1993). ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes – application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Molecular Ecology*, 2, 113–118. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.1993.tb00005.x> [in English].
- [9] Kernaghan, G. (2005). Mycorrhizal diversity: cause and effect (2005). *Pedobiologia*, 49, 511–520. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.05.007> [in English].
- [10] Lang, C., Seven, J. & Polle, A. (2011). Host preferences and differential contributions of deciduous tree species shape mycorrhizal species richness in a mixed Central European forest. *Mycorrhiza*, 21, 297–308. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0338-y> [in English].
- [11] Newbound, M., McCarthy, M.A. & Lebel, T. (2010). Fungi and the urban environment: A review. *Landscape and Urban Planning*, 96, 138–145. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.04.005> [in English].
- [12] Pouyat, R.V., Parmelee, R.W. & Carreiro, M.M. (1994). Environmental effects on forest soil invertebrate and fungal densities in oak stands along an urban-rural land use gradient. *Pedobiologia*, 38, 385–399 [in English].
- [13] Smith, S.E. & Read, D.J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd ed.). Academic Press, London [in English].
- [14] Tedersoo, L., May, T.W. & Smith, M.E. (2010). Ectomycorrhizal lifestyle in fungi: global diversity, distribution, and evolution of phylogenetic lineages. *Mycorrhiza*, 20, 217–263. <https://doi.org/10.1007/s00572-009-0274-x> [in English].
- [15] Timonen, S. & Kauppinen, P. (2008). Mycorrhizal colonization patterns of *Tilia* trees in street, nursery and forest habitats in southern Finland. *Urban Forestry & Urban Greening*, 7 (4), 265–276. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2008.08.001> [in English].
- [16] Tyburska, J., Frymark-Szymkowiak, A., Kulczyk-Skrzeszewska, M., Kieliszewska-Rokick, B. (2013). Mycorrhizal status of forest trees grown in urban and rural environments in Poland. *Ecological Questions*, 18, 49–57. <http://dx.doi.org/10.2478/ecoq-2013-0005> [in English].
- [17] Wang, B. & Qiu, Y. L. (2006). Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants, 16, 299–363. <https://doi.org/10.1007/s00572-005-0033-6> [in English].

ABSTRACT

Dzhagan V., Petlovana V. Perspectives of using mycorrhizal fungi for increasing the resistance of green plantings in urbanized areas.

Purpose. This article aims to review the current knowledge on the role of mycorrhizal fungi in enhancing the resistance of green spaces to anthropogenic stress and exploring their potential for use in urban greening. Woody plants are known for their ability to grow and develop in the harsh conditions of urban environments due to their adaptive capabilities, species specificity, and root system structure. Mycorrhizal symbiosis is a crucial factor in the formation and stability of woody plant root systems, improving their growth and viability while also protecting them from toxic compounds. Fungal hyphae interact with root cells to form a mutually beneficial biotrophic association, where plants provide their mycopartner with a source of carbon and energy in the form of carbohydrates, and mycorrhizal fungi increase the absorption area of the root system and transport water and dissolved mineral nutrients from the soil solution to the plant. However, urban environments present several stressful factors that can lead to a decrease or change in the composition of mycorrhizal symbionts compared to natural ecosystems. Despite the active study of mycorrhizae in urban areas, there is still a lack of understanding of the nature of the reaction of fungal partners of plants to various technogenic pollution and features of mycorrhizal symbiosis. Therefore, there is a need for additional in-depth studies of the mycorrhizal status of urban green spaces to expand knowledge about the relationship between specific plant growth conditions and the amount and diversity of mycorrhizae.

One potential solution is the introduction of artificial fungal inoculum as a biofertilizer with the appropriate species composition of symbionts to improve the stability and endurance of plants used in urban landscaping. By promoting mycorrhizal symbiosis, urban greening projects can improve the quality of life of city residents, enhance the urban environment's ecological functions, and contribute to biodiversity conservation.

Key words: arbuscular mycorrhiza, ectomycorrhiza, green spaces, urban environment, mycorrhization of plants in urban areas

AUTHOR'S NOTE:

Dzhagan Veronika, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, e-mail: veronikadzhan@knu.ua, orcid: 0000-0002-7229-5878

Petlovana Viktoriya, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, e-mail: petlovana@knu.ua, orcid: 0000-0001-5056-0813

Стаття подана до редакції 24.04.2023 р.