



ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY

ISSN 1726-1112 (Print)
ISSN 2310-4309 (Online)
Ecol. Noospher., 35(1), 22–27
doi: 10.15421/032403

Microclimatic effects of introduced tree plantings in urban environment

I. A. Ivanko, A. M. Kabar, K. K. Holoborodko, O. O. Didur

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 11.04.2024

Received in revised form
23.05.2024

Accepted 02.06.2024

Oles Honchar Dnipro National
University, Nauky Ave., 72,
Dnipro, 49010, Ukraine.
E-mail:
ivankoirina45@gmail.com

Ivanko, I. A., Kabar, A. M., Holoborodko, K. K., Didur, O. O. (2024). Microclimatic effects of introduced tree plantings in urban environment. Ecology and Noospherology, 35(1), 22–27. doi:10.15421/032403

Ecological role of urban green spaces is increasing in order to provide citizens with comfortable and safe living conditions in the new climatic realities through the use of ecosystem services of tree and shrub stands in the setting of reduced forest areas, native forest decline and acceleration of urbanization processes. However, in Europe and, in particular, in Ukraine, deterioration of the environmental condition and loss of ecological functions of urban green spaces are observed. One of the reasons for the loss of ecological potential of tree and shrub plantings is unbalanced approach to the development of green infrastructure in cities, when socio-cultural ecosystem services (decorative, aesthetic) are preferred over environmental and regulatory ones, including over climate-regulating services. The active use of introduced tree species has always been driven by the development of green infrastructure in modern cities; the share of these species in dendroflora of urban ecosystems is steadily increasing in Europe. Introduced tree species comprise the basis of urban green infrastructure; therefore, the issue of determining the potential microclimatic effects of these species becomes relevant. The influence of tree species (*Acer pseudoplatanus*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Gleditsia triacanthos*, *Morus alba*, *Quercus rubra*, *Robinia pseudoacacia*, *Tilia platyphyllos*) introduced in the Steppe zone of Ukraine on the formation of microclimatic parameters (light intensity, temperature and relative air humidity) in the space beneath the tree canopy within monodominant group plantings is analyzed in Botanical Garden of Oles Honchar Dnipro National University and park areas of Dnipro city. Beneficial effect of group plantings consisting of introduced tree species on the processes of optimizing the microclimatic conditions of the urban environment is revealed. Beneath the canopy of introduced tree species (compared to the reference open sites), light intensity decreased from 86.9% to 97.9% at midday in late July. The air temperature decreased from 3°C to 6.5°C, and the relative humidity increased by 2.5–9.8%, depending on the species of the tree. By increasing the microclimatic efficiency, the studied tree introducents were determined to form the following series: *Gleditsia triacanthos* – *Robinia pseudoacacia* – *Fraxinus pennsylvanica* – *Quercus rubra* – *Tilia platyphyllos* – *Acer pseudoplatanus* – *Morus alba*. Along with a significant climate-regulating effect, monodominant group plantings consisting of dense- and semi-dense crowned introduced tree species become "cooling islands" and play a significant role in optimizing the microclimatic conditions of urban ecosystems during the daytime and summer periods. At the same time, introduced tree species with naturally developed dense and semi-dense crowns can be prioritized for creating and reconstructing green spaces with recreational purposes in the cities situated in Steppe zone. The results obtained regarding the microclimatic effects of introduced tree species expand the scientific and theoretical base for the development of methods for optimizing the functionality of green infrastructure in cities by the construction of green spaces using tree species that have significant climate-regulating properties.

Keywords: introduced tree species; microclimatic effects; urban environment; green infrastructure.

Мікрокліматичні ефекти насаджень інтродукованих деревних видів у міському середовищі

І. А. Іванько, А. М. Кабар, К. К. Голобородько, О. О. Дідур

На тлі скорочення площ, погіршення стану природних лісів та прискорення процесів урбанізації збільшується екологічна роль зелених насаджень міст для забезпечення містян комфортними та безпечними умовами життя в нових кліматичних реаліях за рахунок використання екосистемних сервісів деревно-чагарникових насаджень. Проте в Європі та, зокрема, в Україні відбувається погіршення стану та втрата екологічних функцій міських зелених насаджень. Однією з причин втрати екологічного потенціалу деревно-чагарникових насаджень є незбалансований підхід до розвитку зеленої інфраструктури міст, коли в ході реконструкції та створення нових насаджень перевага надається соціо-культурним екосистемним сервісам (декоративність, естетичність) над середовищевірними та регулювальними, у тому числі кліматорегулювальними. Одним із напрямів розвитку зеленої інфраструктури сучасних міст є активне використання інтродукованих деревних видів, частка яких у дендрофлорі урбоекосистем Європи неухильно зростає. Тому актуальним стає питання визначення потенційних мікрокліматичних ефектів інтродукованих деревних видів, які є каркасом зеленої інфраструктури міст. Проаналізовано вплив інтродукованих у степовій зоні України деревних видів *Acer pseudoplatanus*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Gleditsia triacanthos*, *Morus alba*, *Quercus rubra*, *Robinia pseudoacacia*, *Tilia platyphyllos* на формування мікрокліматичних параметрів (освітленість, температура та відносна вологість повітря) підлогового простору в межах монодомінантних групових насаджень Ботанічного саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара та паркових зон міста Дніпра. З'ясовано сприяння групових насаджень інтродукованих деревних видів процесам оптимізації мікрокліматичних умов міського середовища. Під пологом насаджень деревних інтродуцентів по відношенню до контрольних відкритих ділянок опівдні наприкінці липня освітленість зменшувалась від 86,9 до 97,9 %, температура повітря знижувалась від 3 до 6,5 °C та відносна вологість повітря зростала на 2,5–9,8 % залежно від виду деревної породи. Визначено, що за збільшенням мікрокліматичної ефективності досліджені деревні інтродуценти утворюють такий ряд: *Gleditsia triacanthos* – *Robinia pseudoacacia* – *Fraxinus pennsylvanica* – *Quercus rubra* – *Tilia platyphyllos* – *Acer pseudoplatanus* – *Morus alba*. За значного кліматорегулювального впливу монодомінантні групові насадження з щільнокронних та напівщільнокронних деревних інтродуцентів стають «островами охолодження» та відіграють значну роль в оптимізації мікрокліматичних умов урбоекосистем у денні часи літнього періоду. Водночас інтродуковані деревні види з природно розвинутими щільними та напівщільними кронами можна розглядати як пріоритетні у процесі створення та реконструкції зелених насаджень рекреаційного призначення міст степової зони. Одержані результати щодо мікрокліматичних ефектів інтродукованих деревних видів розширюють науково-теоретичну базу для розроблення методів оптимізації функціональності зеленої інфраструктури міст шляхом комплектації зелених насаджень деревними видами зі значними кліматорегулювальними властивостями.

Ключові слова: інтродуковані деревні види; мікрокліматичні ефекти; міське середовище; зелена інфраструктура.

Вступ

У наш час на тлі скорочення площ, погіршення стану природних лісів та прискорення процесів урбанізації збільшується екологічна роль зелених насаджень міст, у яких, за даними The World Bank, проживає майже 56 % населення планети. Тому особливо актуальним стає питання забезпечення містян комфортними та безпечними умовами життя в нових кліматичних реаліях за рахунок використання екосистемних сервісів деревно-чагарникових насаджень. Але нині в Європі та, зокрема, в Україні відбувається погіршення стану та втрата екологічних функцій міських зелених насаджень, констатується їх нестача задля забезпечення протидії наслідкам глобальних змін клімату (Colding et al., 2020). Однією з причин втрати екологічного потенціалу зелених насаджень є сучасний незбалансований підхід до розвитку зеленої інфраструктури міст, коли в ході реконструкції та створення нових насаджень перевага надається соціо-культурним екосистемним сервісам (декоративність, естетичність) деревних та чагарникових видів над середовищевірними, регулювальними (у тому числі кліматорегулювальними) та послугам зі збереження біорізноманіття, формування природного середовища. У світі визнано, що недооцінювання або нівелювання екологічних функцій та екосистемних сервісів зелених насаджень (перш за все середовищевірних та регулювальних) призводить до зниження екологічної функціональності всієї зеленої інфраструктури міст (Wong et al., 2018). Водночас зелена інфраструктура є джерелом різноманітних екосистемних послуг, які надаються міським екосистемам (Martos et al., 2016; Kim, Coseo, 2018; Radomska, 2022), та нині деревно-чагарниковим насадженням все більше приділяють увагу як дієвим агентам стримування та протидії наслідкам глобальних кліматичних змін (Hardin, Jensen, 2007; Zölch et al., 2016). Кліматорегулювальна екологічна функція різних типів міських деревно-чагарникових насаджень є однією з

найважливіших для забезпечення адаптації міст до глобальних змін клімату та зниження ефекту «міських теплових островів» і проявляється як у мікро-, так і макромасштабі. Деревні насадження здатні пом'якшити наслідки кліматичних змін та покращити кліматичні умови міст насамперед через забезпечення затінення та охолоджувального впливу на поверхні (грунтовий покрив, асфальтне покриття і т. д.) та атмосферне повітря в урбоекосистемах (Masalskiy, Kuznetsov, 2018; Rötzer et al., 2019; Huang et al., 2023). За даними Zölch et al. (2016), висадження дерев забезпечує зниження денної фізіологічно еквівалентної температури в зонах рекреації на 12–13 %, що перевищує даний ефект інших типів рослинності.

За даними науковців визначено видоспецифічність у процесах модифікації мікроклімату міського середовища різними деревними видами, що зумовлено передусім відмінностями в геометрії, розмірах та світлопроникності крон, листовою площею та іншими морфометричними параметрами (Wang et al., 2021; Zhang, Gou, 2021). Установлено, що специфіка стратегій у використанні води також має свій вплив на евапотранспіраційне охолодження повітря та функціональність і стан деревних видів у періоди водного дефіциту (Richter et al., 2022). Зокрема, наведено потенційні можливості у формуванні мікроклімату таких видів, як *Ficus microcarpa*, *Ficus virens*, *Bauhinia x blakeana*, *Cinnamomum camphora* (Feng et al., 2023), *Malaleuca leucadendron*, *Filicium decipiens*, *Mesua ferrea*, *Ficus benjamina* (Shahidan, 2015), *Cinnamomum parthenoxylon*, *Ginkgo biloba*, *Prunus cerasifera*, *Platanus* sp., (Zhang, Gou, 2021). На прикладі м. Києва констатується, що значний позитивний вплив на температурний режим міського середовища здійснюють великі масиви, складені щільнокронними місцевими видами (*Quercus robur*, *Tilia cordata*, *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus*) з природно розвинутими кронами (Masalskiy, Kuznetsov, 2018).

Одним із напрямів оптимізації зелених насаджень міст є використання інтродукованих видів дендрофлори, які

мають значні рекреаційні властивості та великі потенції в реалізації екологічних функцій в урбоекосистемах (Schlaepfer et al., 2020). Стійкою тенденцією в сучасний період є зростання частки деревних інтродуцентів у позаміських штучних лісонасадженнях та зеленій інфраструктурі міст Європи, де вони вже становлять основу дендрологічного різноманіття (Kowarik et al., 2013; Brundu et al., 2020; Schlaepfer et al., 2020; Marinšek et al., 2022). Вважається, що деякі чужорідні види, зокрема *Quercus rubra* та *Robinia pseudoacacia*, будуть більш стійкими до глобальних змін клімату навіть за песимістичних сценаріїв (Dyderski et al., 2020), що робить їх перспективними для адаптації міських екосистем. Тому, незважаючи на значні наукові доробки щодо впливу деревної рослинності на покращення кліматичних умов міського середовища, актуальним залишається питання визначення потенційних мікрокліматичних ефектів інтродукованих деревних видів, які нині є каркасом зеленої інфраструктури міст.

Матеріали та методи досліджень

Для оцінювання екосистемних сервісів інтродукованих видів дендрофлори проведено дослідження їх впливу на формування мікрокліматичних параметрів у межах монодомінантних групових насаджень Ботанічного саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара та паркових зон міста Дніпра (парк імені Гагаріна, парк Дружби народів, сквер імені Івана Старого). Досліджувалися інтродуковані в степовій зоні України види, які широко представлені в зелених насадженнях міст (гледичія звичайна (*Gleditsia triacanthos* L.), робінія псевдоакація (*Robinia pseudoacacia* L.), шовковиця біла (*Morus alba* L.), клен несправжньо-платановий (явор) (*Acer pseudoplatanus* L.), липа широколиста (*Tilia platyphyllos* Scop.), ясен пенсільванський (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall) і дуб червоний (*Quercus rubra* L.), який зрідка зустрічається у міських насадженнях, але має значні перспективи у використанні. Для дослідів були обрані по дві пробні площі для кожного з досліджуваних видів. Обрано монодомінантні групи з нормальною зімкнутістю пологів (0,7–0,9), складені деревами з нормальним життєвим станом з природно розвинутими кронами віком від 40 років (табл. 1). Кількість дерев у групах коливалася від 3 (для дуба червоного) до 7. Дослідження були проведені у термін максимального впливу деревної рослинності на кліматичні параметри середовища (у посушливий період, наприкінці липня 2023 р.).

Освітленість вимірювали опівдні (з 12.00 год до 13.30 год) у сонячну погоду з нульовою хмарністю з шагом 1 метр по діагоналях пробних площ синхронно з відкритими контрольними ділянками (відстань від крон 50 м). Кількість вимірювань у межах однієї пробної площі становила від 250 до 300 залежно від розміру насадження.

Таблиця 1

Таксаційні показники інтродукованих видів дендрофлори в досліджених групових насадженнях

№ п/п	Вид	Зімкнутість пологів насадження	Вік, роки	Висота, м (x ± SE)	Діаметр стовбура на висоті 1,3 м, см (x ± SE)
1	<i>Gleditsia triacanthos</i>	0,7–0,8	40–50	18,7 ± 3,6	44,7 ± 4,6
2	<i>Robinia pseudoacacia</i>	0,7–0,8	40–50	19,3 ± 2,9	36,1 ± 14,0
3	<i>Quercus rubra</i>	0,8–0,9	40–60	17,5 ± 3,3	47,5 ± 6,6
4	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	0,7–0,8	40–50	18,2 ± 1,7	43,9 ± 8,6
5	<i>Morus alba</i>	0,8–0,9	40–60	15,6 ± 2,5	35,3 ± 9,7
6	<i>Tilia platyphyllos</i>	0,7–0,8	40–50	19,1 ± 1,9	41,2 ± 11,3
7	<i>Acer pseudoplatanus</i>	0,8–0,9	40–50	18,0 ± 1,5	41,3 ± 7,10

Вимірювання здійснювали на висоті 1,3 м цифровими люксметрами PCE-174 і виражали в люксах (лк) та відсотках відносно до відкритих ділянок. Температуру та відносну вологість повітря в підпологовому просторі та на відкритих територіях вимірювали синхронно за допомогою цифрових термогігрометрів HE-173, які були закріплені під пологом та відкритих ділянках (на штативах) на висоті 1,5 м. Шаг запису вимірювань термогігрометрів був установлений у 30 секунд.

Отримані фітоактинометричні (освітленість) та мікрокліматичні характеристики (температура, відносна вологість повітря) виражали середнім арифметичним та його стандартною похибкою (x ± SE). Порівняння рівня температури, відносної вологості повітря під наметом дослідженої інтродукованої дендрофлори та відкритих ділянок здійснювали за критерієм Манна–Уїтні. Відмінності вважали статистично значущими за P < 0,05.

Результати та їх обговорення

За результатами фітоактинометричних досліджень під пологом монодомінантних групових насаджень із дерев-інтродуцентів середня освітленість опівдні становила від 8122,2 до 882,9 лк залежно від виду при освітленості відкритих ділянок від 68000 до 60300 лк, що створює значну мозаїчність світлоклімату зон рекреації (табл. 2).

Найменші показники освітленості зареєстровано під пологом *Morus alba* (1461,5 лк), *Acer pseudoplatanus* (882,9 лк), *Tilia platyphyllos* (2468,1 лк) та *Quercus rubra* (3516,5 лк), які належать до щільнокронних та напівщільнокронних порід. Високі показники освітленості характерні для насаджень із ажурнокронного виду *Gleditsia triacanthos* (8122,2 лк) та напіважурнокронної породи *Robinia pseudoacacia* (6335,5 лк).

Але абсолютні показники освітленості залежать не тільки від світлопроникності деревного пологів, але й від змін освітленості неба. Тому для отримання даних стосовно світлознижувального ефекту крон інтродукованих видів дендрофлори наведено результати щодо ступеня освітленості під пологом деревних угруповань відносно відкритих ділянок. За результатами спостережень ступінь освітленості під пологом насаджень деревних інтродуцентів опівдні наприкінці липня варіює від 2,1 до 13,1 % від повного освітлення (табл. 2). За збільшенням ефективності світлознижувального ефекту досліджені деревні інтродуcentи утворюють такий ряд: *Gleditsia triacanthos* (13,1 %) – *Robinia pseudoacacia* (10,5 %) – *Fraxinus pennsylvanica* (7,8 %) – *Quercus rubra* (5,1 %) – *Tilia platyphyllos* (3,8 %) – *Acer pseudoplatanus* (2,2 %) – *Morus alba* (2,1 %). Найбільш вагомий світлознижувальний ефект характерний для щільнокронних порід *Morus alba*, *Acer pseudoplatanus*, *Tilia platyphyllos* та напівщільнокронного виду *Quercus rubra*, які можна розглядати як пріоритетні у процесі створення зон затінення в різних типах міських зелених насаджень.

Таблиця 2

Характеристика освітленості під пологом монодомінантних насаджень інтродукованих видів дендрофлори (12.00–13.30, наприкінці липня 2023 р.)

№ п/п	Вид	Освітленість під пологом, лк			Відсоток освітленості по відношенню до відкритих ділянок, %		
		x ± SE	Max	Min	x ± SE	Max	Min
1	<i>Gleditsia triacanthos</i>	8122,2 ± 408,8	48400	2920	13,1 ± 0,68	60,1	4,9
2	<i>Robinia pseudoacacia</i>	6335,5 ± 446,5	39910	940	10,5 ± 0,76	66,5	1,6
3	<i>Quercus rubra</i>	3516,5 ± 208,8	18800	800	5,1 ± 0,31	27,6	1,2
4	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	5079,1 ± 276,7	39050	1610	7,8 ± 0,43	60,1	2,5
5	<i>Morus alba</i>	1461,5 ± 176,3	25050	350	2,1 ± 0,24	36,8	0,5
6	<i>Tilia platyphyllos</i>	2468,1 ± 79,3	16000	870	3,8 ± 0,12	24,6	1,3
7	<i>Acer pseudoplatanus</i>	882,9 ± 27,3	7400	440	2,2 ± 0,07	18,5	1,1

Примітка. Max – максимальне значення, Min – мінімальне значення показника.

Зауважимо, що *Morus alba* нині проявляє значну інвазійну активність у зелених насадженнях міст степової зони, що обмежує ефективність її використання в масивних та групових насадженнях.

Важливою характеристикою стану деревного намету зелених насаджень і, як наслідок, особливостей світлового забезпечення нижніх фітогоризонтів є частота трапляння тієї або іншої освітленості під наметом насадження. Аналіз частоти трапляння різних значень освітленості показує, що під наметом монодомінантних насаджень із щільнокронних та напівщільнокронних деревних інтродуцентів світлове поле характеризується однорідністю з переважанням тінювих ділянок із освітленістю менше за 5 % відносно відкритих територій (табл. 3). Частка таких затінених територій під пологом насаджень *Quercus rubra*, *Tilia platyphyllos*, *Acer pseudoplatanus*, *Morus alba* становить від 70,3 до 99,6 %. При цьому практично відсутні ділянки з високими показниками освітленості (понад 15 % від повної) – лише від 0,7 до 6,2 % світлового поля залежно від виду інтродукованої рослини. Під наметом насаджень *Gleditsia triacanthos*, яка належить до ажурнокронних порід, світлове поле характеризується значною мозаїчністю з домінуванням освітленості від 5 до 15 % від повного освітлення (74 % від загальної кількості вимірювань) та значною часткою територій із освітленістю понад 15 % від повного освітлення. Напіважурнокронні види *Robinia pseudoacacia* і *Fraxinus pennsylvanica* також забезпечують значне різноманіття умов освітлення під пологом насаджень, але з достатньою часткою значно затінених

ділянок (менше 5 % відносно відкритих територій), що відповідає 43,2 та 44,3 % від загальної кількості вимірювань відповідно.

Від світлопроникності крон дерев та деревного намету в цілому напряму залежать мікрокліматичні показники під пологом насаджень, насамперед ступінь зниження температури та підвищення вологості повітря відносно відкритих територій за рахунок затінення та евапотранспіраційного охолодження.

З'ясовано, що найбільший ефект створення температурного комфорту в літній посушливий період опівдні мають монодомінантні насадження з *Quercus rubra*, *Tilia platyphyllos*, *Acer pseudoplatanus* та *Morus alba*, у межах яких відбувається зниження температури повітря від 5,35 до 6,5 °C відносно відкритих ділянок (табл. 4). Такий кліматорегулювальний охолоджувальний вплив щільнокронних та напівщільнокронних деревних інтродуцентів є вкрай важливим для міст степової зони для створення температурного комфорту, особливо в разі зростання інтенсивності та тривалості прогнозованих «хвиль тепла». Слід зазначити, що за екстремальних температурних умов зниження температури під пологом насаджень може сягати понад 10 °C (AboElata, 2017). Під наметом насаджень з ажурнокронних (*Gleditsia triacanthos*) та напіважурнокронних порід (*Robinia pseudoacacia*, *Fraxinus pennsylvanica*) у літній період охолоджувальний ефект менший порівняно з вищенаведеними породами та сягає від 3 до 4,6 °C.

За результатами статистичного медіанного тесту Манна-Уїтні рівень температури під наметом дослідженої

Таблиця 3

Частота трапляння різних значень освітленості під наметом монодомінантних групових насаджень інтродукованих видів дендрофлори (12.00–13.30 наприкінці липня 2023 р.), %

Інтервал освітленості, % від відкритих ділянок	<i>Gleditsia triacanthos</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Quercus rubra</i>	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	<i>Morus alba</i>	<i>Tilia platyphyllos</i>	<i>Acer pseudoplatanus</i>
Менше 5	0,6	43,2	70,3	44,3	94,1	85,7	99,6
5,01–10	57,3	29,6	15,4	35,7	2,2	13,3	–
10,01–15	17,1	9,3	8,1	10,3	1,6	0,3	0,4
15,01–20	8,5	3,9	2,9	4,1	0,3	0,3	–
20,01–25	5,1	2,1	2,6	3,4	1,2	0,3	–
25,01–30	3,2	2,1	0,7	0,3	0,3	–	–
30,01–35	1,6	2,1	–	0,3	0,3	–	–
35,01–40	0,3	2,1	–	0,3	–	–	–
40,01–45	1,3	1,1	–	–	–	–	–
45,01–50	0,9	1,4	–	0,3	–	–	–
Понад 50	4,1	2,9	–	0,7	–	–	–

Таблиця 4

Кліматичні показники під наметом монодомінантних групових насаджень інтродукованих видів дендрофлори (12.00–13.30, наприкінці липня 2023 р.)

№ п/п	Вид	Під наметом	Відкриті ділянки	Різниця з відкритими ділянками
Температура повітря, °C				
1	<i>Gleditsia triacanthos</i>	24,00 ± 0,34	26,98 ± 0,12	2,98 ± 0,24
2	<i>Robinia pseudoacacia</i>	22,83 ± 0,04	26,53 ± 0,09	3,70 ± 0,05
3	<i>Quercus rubra</i>	22,35 ± 0,06	27,7 ± 0,16	5,35 ± 0,19
4	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	22,30 ± 0,11	26,92 ± 0,05	4,62 ± 0,11
5	<i>Morus alba</i>	21,14 ± 0,11	27,64 ± 0,11	6,5 ± 0,14
6	<i>Tilia platyphyllos</i>	21,75 ± 0,06	27,48 ± 0,13	5,73 ± 0,08
7	<i>Acer pseudoplatanus</i>	21,45 ± 0,18	27,50 ± 0,13	6,05 ± 0,19
Відносна вологість повітря, %				
1	<i>Gleditsia triacanthos</i>	40,24 ± 0,74	37,78 ± 0,19	2,46 ± 0,63
2	<i>Robinia pseudoacacia</i>	42,28 ± 0,04	38,75 ± 0,13	3,53 ± 0,11
3	<i>Quercus rubra</i>	45,38 ± 0,41	36,58 ± 0,13	8,80 ± 0,39
4	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	44,30 ± 0,07	37,76 ± 0,25	6,54 ± 0,23
5	<i>Moru salba</i>	45,88 ± 0,30	36,06 ± 0,38	9,82 ± 0,41
6	<i>Tilia platyphyllos</i>	44,70 ± 0,38	35,60 ± 0,62	9,10 ± 0,50
7	<i>Acer pseudoplatanus</i>	46,60 ± 0,09	36,92 ± 0,19	9,68 ± 0,26

інтродукованої дендрофлори відрізняється від рівня температури відкритих ділянок (22,3 і 27,48 °C відповідно, $p < 0,05$).

З'ясовано, що рівень відносної вологості повітря під наметом дослідженої інтродукованої дендрофлори статистично (за медіанним критерієм Манна-Уїтні, $p < 0,05$) значуще більший, ніж рівень вологості повітря відкритих ділянок (44,7 і 36,92 % відповідно). Отже, охолоджувальний вплив та підвищення рівня відносної вологості в посушливий період під наметом насаджень з інтродукованих видів дерев свідчить про їх позитивний кліматорегулювальний ефект у поліпшенні мікроклімату територій дослідження та утворення відносно комфортних умов для рекреації.

Створення захисного шару над поверхнею ґрунту, затінення та евапотранспіраційне охолодження зумовлює підвищення вологості повітря під пологом деревних насаджень та його інтенсивність залежить від структури крон видів та намету насаджень (Wang et al., 2021; Zhang, Gou, 2021). Під пологом групових насаджень із *Quercus rubra*, *Tilia platyphyllos*, *Acer pseudoplatanus* та *Morus alba* опівдні у літній період реєструється підвищення відносної вологості повітря від 8,8 до 9,8 % відносно відкритих ділянок (табл. 4), що суттєво оптимізує мікрокліматичні умови рекреаційних зон. Значно меншим оптимізувальним впливом на вологість повітря в літні посушливі періоди характеризуються насадження з ажурнокронних та напіважурнокронних деревних інтродуцентів. Так, під пологом насаджень із *Gleditsia triacanthos*, *Robinia pseudoacacia*, *Fraxinus pennsylvanica* відносна вологість зросла від 2,46 до 6,54 % відносно відкритих ділянок, із максимальним значенням у насадженнях ясеня пенсільванського (*Fraxinus pennsylvanica*).

Отже, можна стверджувати про видоспецифічність мікрокліматичних ефектів інтродукованих деревних видів у процесах модифікації мікроклімату міського середовища. До того ж, світлознижувальний, охолоджувальний та зволожувальний ефекти насаджень із деревних інтродуцентів є вкрай важливими в містах степової зони для їх адаптації до наслідків глобальних змін клімату та створення комфортних умов рекреації, особливо в разі зростання інтенсивності та тривалості прогнозованих «хвиль тепла».

Висновки

1. З'ясовано сприяння групових монодомінантних насаджень інтродукованих деревних видів процесам

оптимізації мікрокліматичних умов міського середовища як провайдерів адаптації міст у контексті регіональних та глобальних змін клімату.

2. За збільшенням мікрокліматичної ефективності досліджені деревні інтродуценти утворюють такий ряд: *Gleditsia triacanthos* – *Robinia pseudoacacia* – *Fraxinus pennsylvanica* – *Quercus rubra* – *Tilia platyphyllos* – *Acer pseudoplatanus* – *Morus alba*.

3. За значного кліматорегулювального впливу монодомінантні групові насадження з щільнокронних та напівщільнокронних деревних інтродуцентів стають «островами охолодження» та відіграють значну роль в оптимізації мікрокліматичних умов урбоєкосистем у денні часи літнього періоду. При цьому інтродуковані деревні види з природно розвинутими щільними та напівщільними кронами можна розглядати як пріоритетні при створенні та реконструкції зелених насаджень рекреаційного призначення міст степової зони.

Напрацьовані результати щодо мікрокліматичних ефектів досліджених інтродукованих деревних видів розширюють науково-теоретичну базу для розробки методів оптимізації функціональності зеленої інфраструктури міст степової зони шляхом комплектації зелених насаджень деревними видами зі значними кліматорегулювальними властивостями.

Подяка

Дослідження було частково профінансоване Міністерством закордонних справ Чеської Республіки в межах проекту № 23-PKV-V-UM-4 «Підтримка підвищення якості викладання, наукових досліджень та міжнародної діяльності в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара (ДНУ)», реалізованого Карловим університетом і ДНУ.

References

- AboElata, A. (2017). Study the Vegetation as Urban Strategy to Mitigate Urban Heat Island in Mega City Cairo. *Procedia Environmental Sciences*, 37, 386–395.
- Brundu, G., Pauchard, A., Pyšek, P., Pergl, J., Bindewald, A. M., Brunori, A., Canavan, S., Campagnaro, T., Celesti-Grapow, L., Dechoum, M. de S., Dufour-Dror, J.-M., Essl, F., Flory, S. L., Genovesi, P., Guarino, F., Guangzhe, L., Hulme, P. E., Jäger, H., Kettle, C. J., Krumm, F., Langdon, B., Lapin, K., Lozano, V., Le Roux, J. J., Novoa, A., Nuñez, M. A., Porté,

- A. J., Silva, J. S., Schaffner, U., Sitzia, T., Tanner, R., Tshidada, N., Vítková, M., Westergren, M., Wilson, J. R. U., & Richardson, D. M. (2020). Global guidelines for the sustainable use of non-native trees to prevent tree invasions and mitigate their negative impacts. *NeoBiota*, 61, 65–116.
- Colding, J., Gren, Å., & Barthel, S. (2020). The incremental demise of urban green spaces. *Land*, 9(5), 162.
- Dyderski, M. K., Paz, S., Frelich, L. E., & Jagodzinski, A. M. (2020). How much does climate change threaten European forest tree species distributions? *Global change biology*, 24(3), 1150–1163.
- Feng, X., Wen, H., He, M., & Xiao, Y. (2023). Microclimate effects and influential mechanisms of four urban tree species underneath the canopy in hot and humid areas. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1108002.
- Hardin, P. J., & Jensen, R. R. (2007). The effect of urban leaf area on summer time urban surface kinetic temperatures: A Terre Haute case study. *Urban Forestry & Urban Greening*, 6, 63–72.
- Huang, F., Jiang, S., Zhan, W. H., Bechtel, B., Liu, Z., Demuzere, M., Huang, Y., Xu, Y., Ma, L., Xia, W., Quan, J., Jiang, L., Lai, J., Wang, C., Kong, F., Du, H., Miao, S., Chen, Y., & Chen, J. (2023). Mapping local climate zones for cities: A large review. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 292, 113573.
- Kim, G., & Coseo, P. (2018). Urban Park systems to support sustainability: The role of urban park systems in hot arid urban climates. *Forests*, 9(7), 439.
- Kowarik, I., & VonderLippe, M., Cierjacks, A. (2013). Prevalence of alien versus native species of woody plants in Berlin differs between habitats and at different scales. *Preslia*, 85, 113–132.
- Marinšek, A., Bindewald, A., Kraxner, F., La Porta, N., Meisel, P., Stojnić, S., Coccozza, C., & Lapin, K. (2022). Management of non-native tree species in urban areas of the Alpine space. BFW Vienna/Austria.
- Martos, A., Pacheco-Torres, R., Ordóñez, J., & Jadraque-Gago, E. (2016). Towards successful environmental performance of sustainable cities: Intervening sectors. A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 479–495.
- Masalskiy, V. P., & Kuznetsov, S. I. (2015). Vplyv parkovykh nasadzen' na temperaturnyy rezhym urbanizovanoho seredovyscha [The impact of park plantings on the temperature regime of the urbanized environment]. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(7), 49–52 (in Ukrainian).
- Radomska, M. M. (2022). Biodiversity based solutions for the support of ecosystem services, provided by urban green infrastructure. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(5), 50–56.
- Richter, R., Ballasus, H., Engelmann, R. A. et al. (2022). Tree species matter for forest microclimate regulation during the drought year 2018: disentangling environmental drivers and biotic drivers. *Scientific Reports*, 12, 17559.
- Rötzer, T., Rahman, M. A., Moser-Reischl, A., Pauleit, S., & Pretzsch, H. (2019). Process based simulation of tree growth and ecosystem services of urban trees under present and future climate conditions. *The Science of the total environment*, 676, 651–664.
- Schlaepfer, M. A., Guinaudeau, B., Martin, P., & Wyler, N. (2020). Quantifying the contributions of native and non-native trees to a city's biodiversity and ecosystem services. *Urban Forestry & Urban Greening*, 56, 126861.
- Shahidan, M. F. (2015). Potential of Individual and Cluster Tree Cooling Effect Performances Through Tree Canopy Density Model Evaluation in Improving Urban Microclimate. *Current World Environment*, 10(2).
- Wang, J., Guo, W., Wang, C., Yao, Y., Kou, K., Xian, D., & Zhang, Y. (2021). Tree crown geometry and its performances on human thermal comfort adjustment. *Journal of Urban Management*, 10(1), 16–26.
- Wong, C. P., Jiang, B., Kinzig, A. P., Ouyang, Z. (2018). Quantifying multiple ecosystem services for adaptive management of green infrastructure. *Ecosphere*, 9(11), e02495.
- Zhang, J., & Gou, Z. (2021). Tree crowns and their associated summertime microclimatic adjustment and thermal comfort improvement in urban parks in a subtropical city of China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 59, 126912.
- Zölch, T., Maderspacher, J., Wamsler, C., & Pauleit, S. (2016). Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 305–316.