

¹Н. В. НУЖИНА, ¹І. Ю. ІВАНОВА, ²Л. Р. ГРИЦАК, ²Н. М. ДРОБИК

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка

вул. Володимирська, 64/13, Київ, 01601

²Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

e-mail: nuzhynan@gmail.com

ПОСУХОСТІЙКІ ВИДИ ДЕРЕВ ТА КУЩІВ – ВАЖЛИВА ЛАНКА ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНИХ ЕФЕКТІВ «МІСЬКИХ ОСТРОВІВ ТЕПЛА»

Було досліджено водні параметри листків 9 видів середньорослих дерев та 4 видів кущів із метою виявити найперспективніші посухотолерантні декоративні види деревних рослин із зон помірного та континентального клімату, які поки що малопоширені в культурі в зоні Полісся і Лісостепу України, з подальшою рекомендацією включення їх в екосистеми урбанізованого середовища для подолання негативного впливу «міського острова тепла». За результатами дослідження такі середньорослі дерева, як *Aesculus pavia* L., *Aralia elata* (Miq.) Seem., *Cercis canadensis* L., *Tetradium daniellii* (Benn.) T.G. Hartley та *Zizyphus jujube* (Mill.), а також кущі *Cotinus coggygria* Scop., *Cotinus coggygria* 'Royal Purple' та *Berberis vulgaris* L. 'Atropurpurea' можна рекомендувати для міського озеленення як посухостійкі рослини.

Ключові слова: посухостійкість, деревні рослини, міський тепловий острів.

Реалізація програм щодо покращення комфорту, здоров'я та безпеки місцевих громад передбачає збільшення та розширення площі зелених насаджень у містах для зменшення у літній період ефектів виникнення «міських островів тепла» [3, 7, 10, 12]. Підбір для озеленення стійких до посухи рослин збільшує життєздатність цих рослин в умовах міста, а також має значний економічний позитивний ефект через зниження витрат води для поливу.

Глобальні зміни клімату та пов'язана з ними зміна омброрежиму негативно впливають на життєздатність деяких аборигенних рослин. Це підтверджують результати досліджень низки учених із різних країн світу [6, 8]. Одним із варіантів вирішення цієї проблеми є пошук інших видів рослин із зони помірного клімату, здатних адаптуватися до комплексу умов урбанізованого середовища, ускладнених кліматичними змінами. Проте, переважно об'єктами для дослідження механізмів стійкості до посилення аридності клімату є лише сільськогосподарські культури рослин [4, 5, 11], що значно обмежує можливість вибору видів для створення паркових зон у містах.

Виходячи із вище зазначеного, мета роботи полягала у виявленні та дослідженні найперспективніших посухотолерантних рідкісних і декоративних видів деревних рослин із колекції Ботанічного саду ім. акад. О. В. Фоміна з подальшою рекомендацією до включення їх в екосистеми урбанізованого середовища для подолання негативного впливу «міського острова тепла».

Матеріали і методи досліджень

Для досліджень було відібрано 13 видів рослин, більшість із яких пройшли багаторічні випробування в Ботанічному саду ім. акад. О. В. Фоміна. Види характеризувались високою декоративністю, густою, переважно, розлогою кроною. Оскільки під час озеленення урболандшафтів особлива увага приділяється ефективному використанню територій, це зумовило вибір дослідної групи: дерева, середній розмір яких близько 10 м, та кущі.

Київ знаходиться на Півночі України, на межі Полісся і Лісостепу; клімат столиці визначений як помірно континентальний, із м'якою зимою і теплим літом [2]. Серед відібраних нами видів було 9 видів дерев, які походять із зон помірного та континентального клімату, малопоширені в культурі в зоні Полісся і Лісостепу України (*Aesculus pavia* L., *Aralia elata* (Miq.) Seem., *Broussonetia papyrifera* (L.) L'Hér. ex Vent., *Cercis canadensis* L., *Platycarya*

strobilacea Siebold & Zucc., *Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb., *Tetradium daniellii* (Benn.) T.G. Hartley, *Zizyphus jujuba* (Mill.), а також *Robinia viscosa* Vent., яка вже досить часто культивується на зазначених територіях.

Серед кущів із зон помірного та континентального клімату було обрано для дослідження малопоширені в культурі в зоні Полісся і Лісостепу України *Cotinus coggygrya* Scop. та *Cotinus coggygrya* Scop. 'Royal Purple' та два види, які вже набули певної популярності у ландшафтних комплексах – *Berberis vulgaris* L. 'Atropurpurea' та *Corylus maxima* Mill. 'Atropurpurea'.

Упродовж вегетаційного сезону оцінювали посухостійкість дослідної групи двічі: на початку червня, коли вже встановлюються високі позитивні температури, але листки на деревах та кущах ще молоді, а також на початку вересня, коли ще тримаються високі температури, кількість опадів низька, але листки вже повністю сформовані за морфо-анатомічними ознаками, характерними для свого виду.

Оцінку відносної посухостійкості проводили за описаною Жангом і Тохтарем методикою [1], вимірюючи такі параметри водного режиму: оводненість тканин та втрату води за одиницю часу ($n = 6$ для кожного виду).

Статистичну обробку результатів виконували за допомогою програми Prism Graphpad 8. Достовірність результатів визначали за ANOVA з використанням критерію достовірної різниці групових середніх Тьюкі (Honestly Significant Difference). У процесі дослідження порівнювали міжвидові показники параметрів відносної посухостійкості дерев або кущів, а також показники відносної посухостійкості рослин у червні із показниками, що отримали у вересні.

Результати досліджень та їх обговорення

Одним із непрямих показників посухостійкості є оводнення листків. Результати досліджень показали, що в усіх видів дерев оводненість молодих листків (початок червня) достовірно статистично більша ($P \leq 0,01$) або має тенденцію до збільшення, порівняно з дорослими сформованими листками (початок вересня). Ймовірно, це зумовлено формуванням упродовж літа більш потужних покривів листка: потовщенню зовнішньої клітинної стінки епідерми, кутикули, шару воску тощо. Найвищий показник оводненості на початку і в кінці посушливого сезону має вид *Broussonetia papyrifera*. Види *Aesculus pavia*, *Aralia elata*, *Tetradium daniellii* та *Zizyphus jujube* мають високий показник оводненості молодих листків, але показники оводненості їх листків на початку осені знижуються на 2,4–8,5 % залежно від видової належності (рис. 1). Високий вміст води в молодих листках є одним з пристосувань до посушливих умов. Це дозволяє захистити рослини в період, коли ще не завершилося формування морфо-анатомічних структур листка відповідно до ксерофітного типу. Такі види, як: *Cercis canadensis*, *Prunus dulcis* та *Platycarya strobilacea*, до початку осені знижують оводненість листків до низького рівня посухостійкості за шкалою Жанга та Тохтаря [1]. *Robinia viscosa* належить до групи із середнім рівнем посухостійкості за досліджуваним параметром, який не змінюється упродовж усього вегетативного сезону (рис. 1).

До показників, за яким оцінюють відносну стійкість рослин до тривалої посухи, належить також їх здатність до водоутримання. Цей параметр характеризує швидкість віддачі води ізольованими вегетативними органами за одиницю часу. Результати наших досліджень показали, що найбільша втрата води за 1 годину спостерігається у *Broussonetia papyrifera* та в *Robinia viscosa* як на початку літа, так і на початку осені. Однак, лише у молодого листка *Broussonetia papyrifera* втрата води за 1 годину становить більше 11 %, що вказує на середній рівень посухостійкості (рис. 2). Підвищена втрата води при в'яненні поряд із високою оводненістю листків у цього виду дерев може бути пояснена тонкими покривними тканинами листка, а отже високою кутикулярною транспірацією.

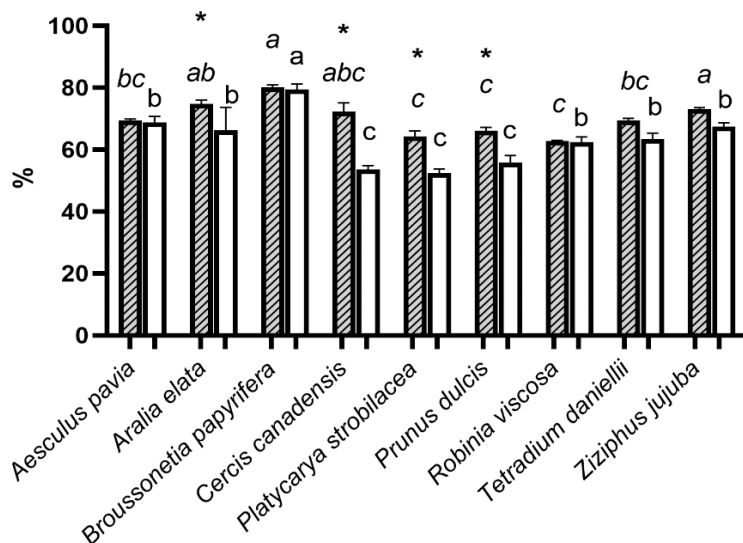


Рис. 1. Показник оводнення листків дерев висотою близько 10 м. Де заштриховані колонки – значення, отримане на початку червня; незаштриховані колонки – значення, отримане на початку вересня, * – $P \leq 0,01$ достовірна відмінність, порівняно з вересневою групою; однакові літери курсивом вказують на відсутність достовірної різниці між різними видами, дослідженими в червні; однакові літери звичайним шрифтом указують на відсутність достовірної різниці між різними видами, дослідженими у вересні.

За показником втрати води за одну годину в’янення майже всі досліджувані види можна характеризувати як високопосухостійкі. Особливо висока здатність до водоутримування була виявлена у *Aesculus pavia*, *Cercis canadensis*, *Platycarya strobilacea*, *Tetradium daniellii* та *Zizyphus jujube* (рис. 2). Молоді листки *Prunus dulcis* дуже добре утримують воду, але ця здатність із дозріванням достовірно ($P \leq 0,01$) знижується, тоді як в інших видів відсутня достовірна різниця між значеннями цього показника, отриманими в різний час вегетативного сезону.

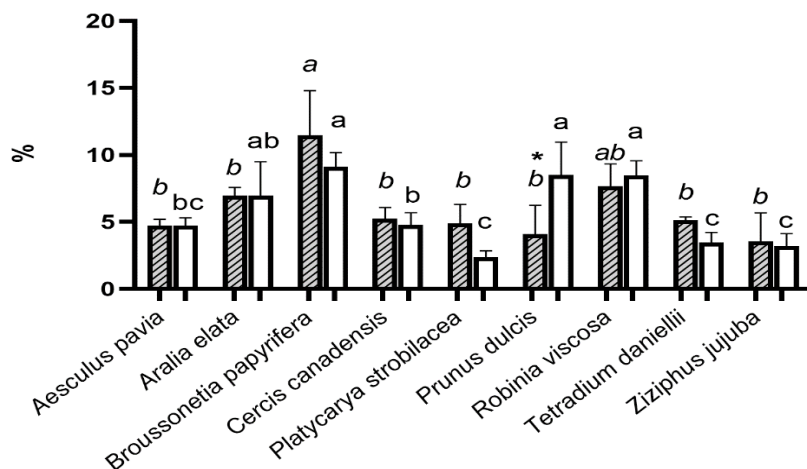


Рис. 2. Показник втрати води за 1 год. в’янення листками дерев висотою близько 10 м. Умовні позначення див. рис. 1.

На нашу думку, показник втрати води за одиницю в'янення є вагомий для встановлення відносної посухостійкості, оскільки рослини можуть адаптуватись до посухи не лише шляхом збільшення запасання води в листках, а і, у першу чергу, посилюючи ксерофітні ознаки, такі, як потовщення покривів листка, зменшення кількості та розмірів продохів, збільшення товщини та дрібноклітинності стовпчастої паренхіми тощо. Це, у свою чергу, спричинює зниження показника втрати води під час в'янення і посилює посухостійкість. Так, наприклад, Oliveira зі співавторами [9] досліджували залежність водного балансу рослин різних сортів *Prunus dulcis* від особливостей анатомічної будови їх листків. Цими ученими було встановлено, що посухостійкість сортів цього виду залежить від напряму морфологічних і структурних перебудов їх листків для захисту від втрати води [9]. Ксерофітними ознаками одних сортів були: зменшена площа листків та щільність продохів, товщі клітинні стінки та щільність листків; у других – потовщувалась кутикула; а в третіх – потовщується епідерміс і стовпчаста паренхіма для посилення захисту від втрати води [9]. Це вказує на необхідність у подальшому поєднати фізіологічні дослідження рослин зі структурними та біохімічними дослідженнями для подальшого з'ясування процесів адаптації різних видів до негативних умов зовнішнього середовища, зокрема посухи.

Отже, найбільш посухостійкими серед досліджених видів за відносними ознаками виявилися *Aesculus pavia*, *Aralia elata*, *Cercis canadensis*, *Tetradium daniellii* та *Zizyphus jujube*. Такі дерева, як: *Broussonetia papyrifera*, *Robinia viscosa*, *Prunus dulcis* та *Platycarya strobilifera* – показали дещо нижчу посухостійкість, яку можна охарактеризувати як середню.

Встановлено, що показники оводнення листків кущів, як і у випадку з середньорослими деревами, мають тенденцію до зменшення у дорослих листків, однак, статистично достовірної різниці виявлено не було. За градацією Жанга та Тохтаря [1], середній рівень оводненості мають *Cotinus coggygrya* та *Berberis vulgaris* 'Atropurpurea', а *Cotinus coggygrya* 'Royal Purple' та *Corylus maxima* 'Atropurpurea' – мають низький рівень оводненості листків (рис. 3 А). Однак статистичний аналіз показав достовірну відмінність значень оводнення лише у листків *Cotinus coggygrya* 'Royal Purple' на початку вересня.

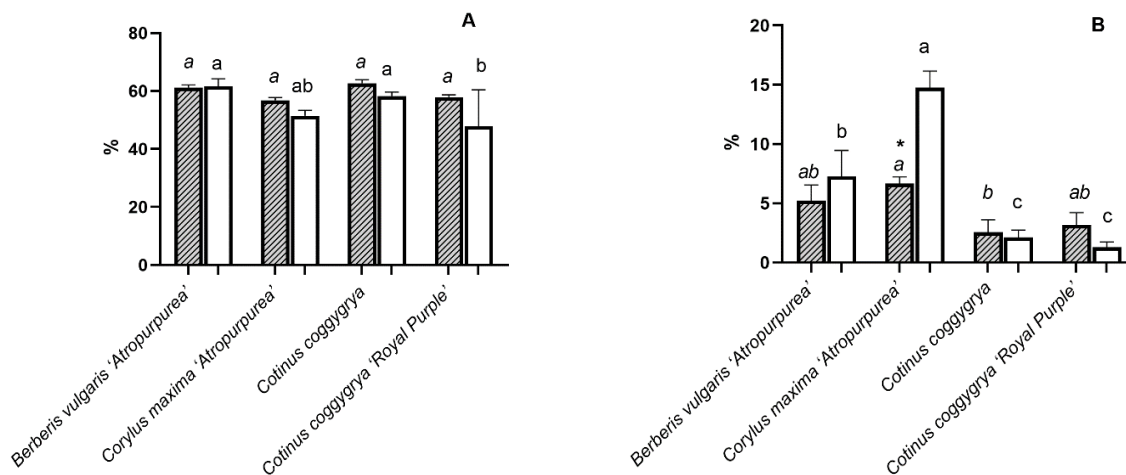


Рис. 3. Показники відносної посухостійкості кущів: А) оводнення листків. В) втрата води листками за 1 год. в'янення. Позначення див. рис. 1.

Аналіз показників втрати води за одиницю часу показав високий рівень посухостійкості для усіх досліджуваних груп, крім *Corylus maxima* 'Atropurpurea' на початку вересня. Можливо, що різке збільшення втрати води у цих рослин на початку осені було зумовлене наявністю не проявленого захворювання або особливостями змін будови листка. Найбільш посухостійкими за цією ознакою можна назвати рослини *Cotinus coggygrya* та *Cotinus coggygrya* 'Royal Purple', а найменш – *Corylus maxima* 'Atropurpurea' порівняно з іншими досліджуваними видами кущів (рис. 3 В).

Таким чином, за обома вимірюваними параметрами високою відносною посухостійкістю характеризується *Cotinus coggygrya*, дещо нижчою – *Berberis vulgaris* ‘*Atropurpurea*’ та *Cotinus coggygrya* ‘*Royal Purple*’ та найменш посухостійким серед досліджених видів є *Corylus maxima* ‘*Atropurpurea*’. Дещо нижча витривалість до посухи останньої рослини може бути пов’язана з тим, що лише цей вид із досліджуваних кущів є тіневитривалим, тоді як інші три види є світлолюбними рослинами.

Більшість досліджених видів є світлолюбними, крім *Aralia elata* та *Corylus maxima* ‘*Atropurpurea*’, що необхідно також враховувати при створенні ландшафтних композицій та врахування необхідного поливу.

Висновки

Отже, такі середньорослі дерева, як: *Aesculus pavia*, *Aralia elata*, *Cercis canadensis*, *Tetradium daniellii* та *Zizyphus jujube*, а також кущі *Cotinus coggygrya*, *Berberis vulgaris* ‘*Atropurpurea*’ та *Cotinus coggygrya* ‘*Royal Purple*’ – можна рекомендувати для міського озеленення як посухостійкі рослини. Тоді як види дерев *Broussonetia papyrifera*, *Robinia viscosa*, *Prunus dulcis* та *Platycarya strobilacea*, а також кущі *Corylus maxima* ‘*Atropurpurea*’ показали порівняно нижчу посухостійкість, що потрібно враховувати при озелененні, оскільки, з одного боку існує необхідність додаткового поливу, з іншого боку, в одній ландшафтній експозиції доречно висаджувати поряд види з подібним рівнем посухостійкості, що полегшить подальший догляд за рослинами.

1. Клімат Києва / за ред. В. І. Осадчого, О. О. Косовця, В. М. Бабіченко. Київ : Ніка-Центр, 2010. 320 с.
2. Жанг Д., Тохтарь В. К. Исследование засухоустойчивости перспективных видов *Momordica charantia* L. и *M. balsamina* L. (Cucurbitaceae). *Научные ведомости. Серия Естественные науки*. 2011. Вып. 9, Том 15. С. 43–47.
3. Branas C. C., South E., Kondo M. C., Hohl B., Bourgeois Ph., Wiebe D. J., MacDonald J. M. Citywide cluster randomized trial to restore blighted vacant land and its effects on violence, crime, and fear. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2018. Vol. 115, Issue 12. P. 2946–2951. doi: 10.1073/pnas.1718503115
4. Hasanuzzaman M., Fujita M., Nahar K., Biswas J. K. Advances in rice research for abiotic stress tolerance. Unated Kingdom : Woodhead publishing, 2019. 988 p.
5. Hussain H. A., Men S., Hussain S., Chen Y., Ali Sh., Zhang S., Zhang K., Li Y., Xu Q., Liao Ch., Wang L. Interactive effects of drought and heat stresses on morphophysiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. Article 3890. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40362-7>.
6. Kannenberg S. A., Maxwell J. T., Pederson N., D’Orangeville L., Ficklin D. L., Phillips R. P. Drought legacies are dependent on water table depth, wood anatomy and drought timing across the eastern US. *Ecol Lett*. 2019. Vol. 22, Issue 1. P. 119–127. <https://doi.org/10.1111/ele.13173>.
7. Keenan T. F., Prentice I. C., Canadell J. G., Williams Ch. A., Wang H., Raupach M., Collatz G. J. Recent pause in the growth rate of atmospheric CO₂ due to enhanced terrestrial carbon uptake. *Nat. Commun*. 2016. Vol. 7. Article 13428. doi: 10.1038/ncomms13428.
8. Lanza K., Stone B. Climate adaptation in cities: What trees are suitable for urban heat management. *Landscape and Urban Planning*. 2016. Vol. 153. P. 74–82. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2015.12.002.
9. Oliveira I., Meyer A., Afonso S., Gonçalves B. Compared leaf anatomy and water relations of commercial and traditional *Prunus dulcis* (Mill.) cultivars under rain-fed conditions. *Scientia Horticulturae*. 2018. Vol. 229. P. 226–232. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.015>.
10. Önder S., Akay A. The roles of plants on mitigating the urban heat islands’ negative effects. *International Journal of Agriculture and Economic Development*. 2014. Vol. 2, Issue 2. 18–32.
11. Zandalinas S. I., Rivero R. M., Martínez V., Gómez-Cadenas A., Arbona V. Tolerance of citrus plants to the combination of high temperatures and drought is associated to the increase in transpiration modulated by a reduction in abscisic acid levels. *BMC Plant Biology*. 2016. Vol. 16. P. 105. DOI: 10.1186/s12870-016-0791-7.
12. Zhao L., Oppenheimer M., Zhu Q., Baldwin J. W., Ebi K. L., Bou-Zeid E., Guan K., Liu X. Interactions between urban heat islands and heat waves. *Environ. Res. Lett*. 2018. Vol. 13. Article 034003

References

1. Клімат Києва / за ред. В. І. Осадчого, О. О. Косовця, В. М. Бабіченко. Київ : Ніка-Центр, 2010. 320 с. [in Ukrainian]

2. Zhang D., Tokhtar V. K. Issledovanie zasukhoustoychivosti perspektivnykh vidov *Momordica charantia* L. i *M. balsamina* L. (Cucurbitaceae). *Nauchnye vedomosti. Seriya Estestvennyye nauki*. 2011. Vyp. 9, Tom 15. S. 43–47. [in Russian]
3. Branas C. C., South E., Kondo M. C., Hohl B., Bourgeois Ph., Wiebe D. J., MacDonald J. M. Citywide cluster randomized trial to restore blighted vacant land and its effects on violence, crime, and fear. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2018. Vol. 115, Issue 12. P. 2946–2951. doi: 10.1073/pnas.1718503115
4. Hasanuzzaman M., Fujita M., Nahar K., Biswas J. K. Advances in rice research for abiotic stress tolerance. Unated Kingdom : Woodhead publishing, 2019. 988 p.
5. Hussain H. A., Men S., Hussain S., Chen Y., Ali Sh., Zhang S., Zhang K., Li Y., Xu Q., Liao Ch., Wang L. Interactive effects of drought and heat stresses on morphophysiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. Article 3890. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40362-7>.
6. Kannenberg S. A., Maxwell J. T., Pederson N., D'Orangeville L., Ficklin D. L., Phillips R. P. Drought legacies are dependent on water table depth, wood anatomy and drought timing across the eastern US. *Ecol Lett*. 2019. Vol. 22, Issue 1. P. 119–127. <https://doi.org/10.1111/ele.13173>.
7. Keenan T. F., Prentice I. C., Canadell J. G., Williams Ch. A., Wang H., Raupach M., Collatz G. J. Recent pause in the growth rate of atmospheric CO₂ due to enhanced terrestrial carbon uptake. *Nat. Commun*. 2016. Vol. 7. Article 13428. doi: 10.1038/ncomms13428.
8. Lanza K., Stone B. Climate adaptation in cities: What trees are suitable for urban heat management. *Landscape and Urban Planning*. 2016. Vol. 153. P. 74–82. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2015.12.002.
9. Oliveira I., Meyer A., Afonso S., Gonçalves B. Compared leaf anatomy and water relations of commercial and traditional *Prunus dulcis* (Mill.) cultivars under rain-fed conditions. *Scientia Horticulturae*. 2018. Vol. 229. P. 226–232. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.015>.
10. Önder S., Akay A. The roles of plants on mitigating the urban heat islands' negative effects. *International Journal of Agriculture and Economic Development*. 2014. Vol. 2, Issue 2. 18–32.
11. Zandalinas S. I., Rivero R. M., Martínez V., Gómez-Cadenas A., Arbona V. Tolerance of citrus plants to the combination of high temperatures and drought is associated to the increase in transpiration modulated by a reduction in abscisic acid levels. *BMC Plant Biology*. 2016. Vol. 16. P. 105. DOI: 10.1186/s12870-016-0791-7.
12. Zhao L., Oppenheimer M., Zhu Q., Baldwin J. W., Ebi K. L., Bou-Zeid E., Guan K., Liu X. Interactions between urban heat islands and heat waves. *Environ. Res. Lett*. 2018. Vol. 13. Article 034003

¹N. V. Nuzhyna, ¹I. Yu. Ivanova, ²L. R. Hrytsak, ²N. M. Drobyk

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

²Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

DROUGHT-RESISTANT SPECIES OF TREES AND BUSHES AS AN IMPORTANT LINK FOR REDUCING THE NEGATIVE EFFECTS OF “URBAN HEAT ISLANDS”

The water parameters of the leaves of 9 species of medium-sized trees (*Aesculus pavia* L., *Aralia elata* (Miq.) Seem., *Broussonetia papyrifera* (L.) L'Hér. ex Vent., *Cercis canadensis* L., *Platycarya strobilacea* Siebold & Zucc., *Prunus dulcis* (Mill.) D.A.Webb., *Tetradium daniellii* (Benn.) T.G. Hartley, *Zizyphus jujuba* Mill., *Robinia viscosa* Vent.) and 4 species of bushes (*Cotinus coggygria* Scop., *Cotinus coggygria* Scop. 'Royal Purple', *Berberis vulgaris* L. 'Atropurpurea', *Corylus maxima* Mill. 'Atropurpurea') were investigated in order to identify the most promising drought-tolerant ornamental species of woody plants from the temperate and continental climate zones, which are still not widely cultivated in the Polissia and Forest-Steppe zones of Ukraine. It will be a further recommendation to include them in the ecosystems of the urban environment to overcome the negative impact of the “urban heat island”. In order to determine the relative drought resistance of plants, the following parameters of the water regime were measured: tissue hydration and water loss per unit of time.

The test for drought resistance was carried out twice, when high temperatures were maintained: in early June (the leaves on trees and bushes are young), and also in early September (the leaves have already acquired all the features characteristic of their species). According to the research findings, such medium-sized trees as: *Aesculus pavia*, *Aralia elata*, *Cercis canadensis*, *Tetradium daniellii* and *Zizyphus jujube*, as well as *Cotinus coggygria*, *Berberis vulgaris* 'Atropurpurea' and *Cotinus coggygria* 'Royal Purple' bushes can be recommended for urban landscaping as drought-resistant plants. Whereas the tree species *Broussonetia papyrifera*, *Robinia viscosa*, *Prunus dulcis* and

Platycarya strobilacea, as well as the bushes *Corylus maxima* 'Atropurpurea' showed relatively lower drought resistance, which must be taken into account when landscaping, since, on the one hand, there is a need for additional watering, on the other hand, in one landscape exposure, it is appropriate to plant species with a similar level of drought resistance, which will facilitate further plant care. The slightly lower tolerance to drought of *Corylus maxima* 'Atropurpurea' may be due to the fact that only this species of the studied shrubs is shade-tolerant, while the other three species are light-loving plants, which must also be taken into account when creating plant compositions.

Keywords: drought resistance, woody plants, urban heat island.

Надійшла 16.09.2022.