

ISSN: 2306-9716 (Print)
ISSN: 2664-6110 (Online)

МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

3(54)



Видавничий дім
«Гельветика»
2024

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. :
Видавничий дім «Гельветика», 2024. – № 3(54). – 250 с.

Головний редактор: Бондар О.І., доктор біологічних наук

Заступник головного редактора: Нагорнева Н.А.

Науковий редактор: Машков О.А., доктор технічних наук

Відповідальний редактор: Сікачина В.Г.

Редакційна колегія:

Гандзюра В.П., доктор біологічних наук

Єрмаков В.М., доктор технічних наук

Захматов В.Д., доктор технічних наук

Іващенко Т.Г., кандидат технічних наук

Коніщук В.В., доктор біологічних наук

Лукаш О.В., доктор біологічних наук

Машков В.А., доктор технічних наук

Михайленко Л.Є., доктор біологічних наук

Нецветов М.В., доктор біологічних наук

Ольшевський С.В., доктор технічних наук

Риженко Н.О., доктор біологічних наук

Рудько Г.І., доктор геолого-мінералогічних наук,

доктор географічних наук, доктор технічних наук

Улицький О.А., доктор геологічних наук

Фінін Г.С., доктор фізико-математичних наук

Шматков Г.Г., доктор біологічних наук

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р. (додаток 1) журнал внесений до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») у галузі біологічних наук (091 – Біологія), природничих наук (101 – Екологія, 103 – Науки про Землю) та технічних наук (183 – Технології захисту навколишнього середовища).

Журнал публікує (після рецензування та редагування) статті, які містять нові теоретичні та практичні здобутки в галузі екологічних наук.

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

*Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International
(Республіка Польща)*

УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ	139
Гадаєва Ю.С., Самойленко Н.М. Дослідження біорозкладання одноразового пакування.....	139
Долженкова О.В., Назаренко Д.Ю. Аналіз способів поводження з воєнним будівельним сміттям.....	144
ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ	150
Бессонова В.П., Гунько С.О. Вплив урбогенних умов зростання <i>Catalpa Bignonioides</i> на морфометричні показники листків і вміст у них пластидних пігментів.....	150
Левчик Н.Я., Заїменко Н.В., Горбенко Н.Є., Скрипка Г.І., Левон В.Ф. Біолого-морфологічні особливості та використання рослин молочаю тірукаллі (<i>Euphorbia tirucalli L.</i>) у зв'язку із поєднанням C_3 - та САМ-типів фотосинтезу.....	162
Шумик М.І., Попіль Н.І. Стратегія добору рослин в умовах урбанізованих екосистем мегаполісу.....	178
ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИЙ ФОНД УКРАЇНИ	188
Мадані М.М. Динаміка стану рослинних угруповань охоронних природних територій внаслідок рекреаційного використання.....	188
ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ	196
Волошин В.С., Бутенко Е.О. До питання про методику оцінки екологічних ризиків.....	196
Гуліна О.С. Пилкування дерев роду <i>Betula</i> в атмосферному повітрі міста Запоріжжя (п'ятирічний моніторинг).....	204
Денисова Н.М., Денисов Д.Ю., Буяльська Н.П. Безпечне середовище. Розроблення нового екологоорієнтовного освітнього мобільного застосунку.....	211
Дунаєвська О.Ф., Вишневський А.В., Ішук О.В., Сокульський І.М. Екологічні аспекти лісовідновлювальних заходів.....	216
Кірсанова В.В. Глобальна екологічна проблема мікропластика.....	221
Котюк Л.А., Іващенко І.В., Житова О.П., Котюк В.С. Фітохімічні особливості малопоширених лікарських рослин: чаберу садового (<i>Satureja hortensis</i>) та ельшольції війчастої (<i>Elsholtzia ciliata</i>).....	228
Пилипчук О.Я., Висоцька Т.І., Ничкалюк Г.В., Пилипчук О.О., Пічкур Т.В., Соловйова Л.М. Формування та розвиток екологічних уявлень в ХІХ сторіччі.....	235
Руденко С.В., Руденко В.П., Руденко С.С. Еталони типовості як критерії оцінки несхожості біомів та провінційних екосистем України за їх природно-ресурсним потенціалом.....	241
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	246

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

УДК 582.632.1:581.144.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.3-54.22>

ВПЛИВ УРБОГЕННИХ УМОВ ЗРОСТАННЯ *CATALPA BIGNONIOIDES* НА МОРФОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ЛИСТКІВ І ВМІСТ У НИХ ПЛАСТИДНИХ ПІГМЕНТІВ

Бессонова В.П.¹, Гунько С.О.²

¹Дніпровський державний аграрно-економічний університет
вул. Сергія Єфремова, 25, 49000, м. Дніпро

²Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Науки, 72, 49010, м. Дніпро
valentinabessonova492@gmail.com, goonko@gmail.com

Інтродукований вид деревних рослин *C. bignonioides* характеризується високою декоративністю, але ще мало використовується в озелененні промислових міст степової зони України через не вивченість впливу на нього специфічний екологічних урбогенних умов. У даній роботі досліджена дія урботехногенних умов зростання на життєвий стан, морфометричні показники пагонів і листків та вміст пластидних пігментів (хлорофіл і каротиноїди) в них. Контрольні рослини (ділянка 1) зростали у парку смт. Обухівка, що на відстані 26 км від м. Дніпро. Рослини ділянки 2 зазнають дію викидів автотранспорту (пр. О. Поля), ділянки 3 – комплексного забруднення (сполуки промислових та автомобільних викидів – пр. Б. Хмельницького), ділянка 4 розташована у внутрішньоквартальній зеленій зоні ж/м Тополя-3. Встановлено, що довжина однорічних пагонів рослин дослідних ділянок коротша, ніж у контролі. Найсуттєвіше цей показник змінюється у рослин, які зростають в умовах сумісної дії на них автомобільних і промислових викидів, найменше – у дерев в насадженнях ж/м Тополя-3. У всіх дослідних варіантах не змінюється довжина міжвузлів, але зменшується їх кількість, що свідчить про переважний вплив забруднювачів на внутрішньобруньковий морфогенез – етап закладання метamerів пагона. Ступінь зменшення діаметру однорічних пагонів близький до такої зміни їх довжини. Визначено, що в дослідних варіантах пагони мають меншу кількість листків, ріст яких пригнічується. Це призводить до значного скорочення асиміляційної поверхні однорічних пагонів. За ступенем негативної дії на ці показники дослідні ділянки можна розташувати в такому порядку: пр. Б. Хмельницького > пр. О. Поля > ж/м Тополя-3. З'ясовано, що кількість листків на модельній гілці статистично не змінюється порівняно з контролем. Це можна пояснити більшим галузненням деяких гілок внаслідок підмерзання їх верхівок (зняття апікального домінування), що суттєвіше проявляється в умовах більшого забруднення. Виявлено, що дія автотранспортного (пр. О. Поля) та полікомпонентного забруднення (пр. Б. Хмельницького) на рослини *C. bignonioides* призводить до зменшення вмісту зелених пігментів у листках порівняно з контролем, переважно за рахунок зміни концентрації хлорофілу *a*. У листках дерев внутрішньоквартальних зелених насаджень ж/м Тополя-3 у кількості хлорофілу достовірної відміни від контрольних значень не виявлено. Це ж стосується і вмісту каротиноїдів у листках рослин цього варіанту. Встановлено, що в листках *C. bignonioides* за умов впливу автотранспорту (пр. О. Поля) та сумісної дії як промислового, так і автотранспортного забруднення (пр. Б. Хмельницького) кількість жовтих пігментів менша, ніж у контролі. Аналіз життєвого стану дерев у насадженнях різних дослідних ділянок, ступінь змін морфометричних показників та вмісту пластидних пігментів (хлорофіл, каротиноїди) свідчить про можливість більш широкого застосування дерев *Catalpa bignonioides* в різного типу насадженнях промислових міст північного степу України навіть в умовах специфічного клімату цієї зони. *Ключові слова:* промислове місто, катальпа бігніонієвидна, площа листка, видовженість листка, флуктуюча асиметрія, хлорофіл, каротиноїди.

The Influence of Urbogenic Growth Conditions of *Catalpa bignonioides* on the Morphometric Indicators of Leaves and the Content of Plastid Pigments in them. Bessonova V., Hunko S.

The introduced species of woody plants *C. bignonioides* is characterised by high decorative value, but is still little used in landscaping of industrial cities of the steppe zone of Ukraine due to the lack of study of the influence of specific environmental urban conditions on it. The effect of urban growth conditions on the vital state, morphometric parameters of shoots and leaves and the content of plastid pigments (chlorophyll and carotenoids) in them were investigated in this study. The control plants (plot 1) grew in the park of Obukhivka village, which is located 26 km from Dnipro city.

Plants in plot 2 are exposed to vehicle emissions (O. Polia Ave.), plot 3 to complex pollution (compounds of industrial and automobile emissions – B. Khmelnytsky Ave.), plot 4 is located in the intra-quarter green zone of the residential complex Topolia-3. It was found that the length of annual shoots of plants in the experimental plots is shorter than in the control. This indicator changes most significantly in plants growing under conditions of combined action of automobile and industrial emissions, and least in trees in the plantations of the residential complex Topolia-3.

In all experimental variants, the length of internodes does not change, but their number decreases, which indicates the predominant effect of pollutants on intrabud morphogenesis – the stage of laying shoot metamers. The degree of reduction in the diameter

of annual shoots is close to the change in their length. It was determined that in the experimental variants' shoots have a smaller number of leaves, the growth of which is inhibited. This leads to a significant reduction in the assimilation surface of annual shoots. According to the degree of negative impact on these indicators, the experimental plots can be arranged in the following order: B. Khmelnsky Ave. > O. Polia Ave. > Topolia-3. It was found that the number of leaves on the model branch did not change statistically compared to the control.

This can be explained by the greater branching of some branches due to freezing of their tops (removal of apical dominance), which is more pronounced in conditions of greater pollution. It was found that the effect of automobile transport (O. Polia Ave.) and multi-component pollution (B. Khmelnsky Ave.) on *C. bignonioides* plants leads to a decrease in the content of green pigments in the leaves compared to the control, mainly due to changes in the concentration of chlorophyll *a*. No significant difference from the control values in the amount of chlorophyll *a* was found in the leaves of trees of the intra-quarter green spaces of Topolia-3. The same applies to the content of carotenoids in the leaves of plants of this variant. It was found that in the leaves of *C. bignonioides* under the influence of automobile transport (O. Polia Ave.) and the combined effect of both industrial and motor vehicle pollution (B. Khmelnsky Ave.) the amount of yellow pigments is lower than in the control. The analysis of the vital state of trees in the plantations of different experimental plots, the degree of changes in morphometric parameters and the content of plastid pigments (chlorophyll, carotenoids) indicates the possibility of wider use of *Catalpa bignonioides* trees in various types of plantations of industrial cities of the northern steppe of Ukraine, even in the conditions of the specific climate of this zone. *Key words*: industrial city, *Catalpa bignonioides*, leaf lamina area, leaf elongation, fluctuating asymmetry, chlorophyll, carotenoids.

Постановка проблеми. Значна щільність забудов, інтенсивний рух автомобілів та висока концентрація населення у містах наносять шкоду оточуючому середовищу, здоров'ю людини, знижують комфортність життя [1]. Озеленення відіграє вагомую роль у регулюванні мікроклімату, зменшує рівень шуму, перегрів ґрунту, швидкість вітру, а також вміст в атмосферному повітрі токсичних викидів автотранспорту та промислових підприємств [2]. Зелені насадження не лише створюють кращі умови для життя та відпочинку жителів, але й сприятливо діють на їх здоров'я, пом'якшуючи негативний вплив урбосередовища [3–5], знижують стрес. Композиції гарноквітучих і декоративно-листяних дерев надають можливість створити значний художній ефект, що позитивно впливає на психо-фізіологічний стан людини.

Важлива роль у виконанні всіх цих функцій належить не тільки аборигенним, але й інтродукованим рослинам, частка яких у зелених насадженнях міст інколи більша, ніж місцевих видів. Більшість з них характеризуються високою декоративністю і значним адаптивним потенціалом, але застосування в озелененні ряду дерев-екзотів ще досить обмежене через недостатнє вивчення дії на їх морфо-фізіологічні показники та стійкість комплексу негативних чинників урботехногенних умов. Сумарний ефект впливу може не співпадати з результатом, викликаним кожним фактором окремо [6]. Отже, необхідно враховувати стійкість до комплексу несприятливих техногенних факторів, а також нових для них кліматичних умов. Це особливо важливо на фоні глобального потепління.

Актуальність дослідження. Для рекомендації введення інтродуцентів у зелені насадження різного типу важливо мати відомості про ступінь їх стійкості у місцях зростання з різним рівнем антропогенного забруднення. Це надасть можливість зробити висновок про те, при яких показниках забруднення бажано обмежити їх культивування, а при яких воно вже недоцільне.

Серед високодекоративних рослин, які заслуговують на більш широке застосування в різного типу

зелених насадженнях міст слід виділити *Catalpa bignonioides*.

Фахівці ландшафтного мистецтва рослинам роду *Catalpa Scop.* віддають одне з провідних місць серед дерев-екзотів, відмічаючи їх високі декоративні якості, які визначаються рясним цвітінням, мальовничими квітками, що зібрані в ошатні суцвіття, великими насичено-зеленими декоративними листками [7]. Надають рослинам надзвичайного вигляду і дуже довгі стручкоподібні плоди (коробочки), які всю зиму залишаються на рослині [8,9].

Аналіз останніх наукових досліджень і публікацій. Дослідженням успішності інтродукції *C. speciosa*, *C. bignonioides*, *C. ovata* Правобережного лісостепу України присвячена робота В.Л. Кульбицького [23]. Встановлена добра регенерація пагонів цих рослин після часткового їх пошкодження пізньовесняними заморозками або морозами взимку. Це вказує на перспективність досліджуваних видів роду *Catalpa* для використання в зелених насадженнях даного регіону.

В.А. Кухарська, О.І. Китаєв [24] аналізували морозостійкість тканин пагонів *C. bignonioides*, *C. hybrida*, *C. speciosa* методом штучного проморожування. За порівнянням процесів утворення льоду в них було виявлено, що за потенційною морозостійкістю види цих рослин можна розташувати таким чином: *C. hybrida* > *C. bignonioides* > *C. speciosa*.

В.О. Голуб і С.М. Голуб [25] досліджували особливості розвитку рослин *C. speciosa*, *C. bignonioides*, *C. hybrida* у Волинській області. У вуличних насадженнях м. Луцьк в умовах значної інтенсивності автомобільного руху у *C. speciosa* відбувалося пригнічення формування асиміляційної площі стосовно контролю на 64%, а у *C. bignonioides*, навпаки, фоліарна площа зросла. Автори вважають, що це відбувається через підмерзання верхівок пагонів і відростання пагонів другого порядку, на яких формується листя збільшених розмірів.

Вивчення ритмів розвитку деревних рослин соціологічного статусу, в тому числі *C. speciosa* і *C. bignonioides*, у степовій зоні України (парк «Асканія Нова») дозволило Н.О. Гавриленко [26]

зробити висновок про успішність проходження цими видами роду *Catalpa* річного циклу. Відмічається, що на освітлених ділянках приріст пагонів був більш інтенсивний ніж на тінистих.

За даними М.В. Немченко, В.П. Бессонової [27] несприятливі умови зростання дерев *C. bignonioides* і *C. speciosa* у придорожній лісосмузі вздовж автотраси між містами Дніпро і Запоріжжя погіршували їх життєвий стан, особливо *C. bignonioides*. На дослідній ділянці дерева мали менші діаметри штамбу і крони, висоту, ніж у рослин такого ж вікового стану у парку м. Дніпро. Заслужують на увагу результати досліджень особливостей росту *C. bignonioides* та зміни життєвого стану за дії антропогенних забруднювачів на територіях промислових підприємств – ПрАТ «Південкокс» м. Кам'янське, ПАТ «Інтерпайп Новомосковський трубний завод» м. Новомосковськ, ПАТ «Інтерпайп Нижньодніпровський трубопрокатний завод» м. Дніпро [28]. Автори не рекомендують використовувати цю рослину в озелененні території заводу «Південкокс» через втрату декоративності, зрідження крони, усихання гілок. Спостерігалися деформація і гофрованість листків, їх некротичні пошкодження і хлоротичність. На територіях інших заводів рослини зберігали добрий декоративний вигляд.

А.В. Скляренко, В.П. Бессоною [29] визначено вміст водорозчинних фенолів у листках дерев *C. bignonioides*, що зростають у санітарно-захисних насадженнях промислових підприємств м. Запоріжжя. Виявлено більше накопичення цих сполук в органах асиміляції, порівняно з контролем, особливо у рослин в захисних лісосмугах ПрАТ «Запоріжкокс», АТ «Запорізький завод феросплавів», ПАТ «Запоріжсталь». Катальпу бігніонієвидну віднесено до групи рослин з високим коефіцієнтом відносного накопичення водорозчинних фенолів у листках, що дозволяє рекомендувати її в якості біоіндикатора забруднення довкілля фенолами.

Для швидкого розмноження посадкового матеріалу суттєвий інтерес мають роботи з вивчення вегетативної репродукції рослин роду *Catalpa*. За даними В.Л. Кульбицького зі спів. [30] розмноження зеленими живцями не є досить успішним, частка укорінення становить 19–23%. Для стимуляції ризогенезу рекомендується обробка розчинами гетероауксину та ІМК. Набагато кращою є коренетвірна здатність здерев'янілих живців [31]. Виявлено найбільш сприятливий період заготівлі живців, оптимальні їх розміри у п'яти видів роду *Catalpa*: *C. speciosa*, *C. hybrida*, *C. bignonioides*, *C. ovata*, *C. fargesii*. Кількість вкорінених живців коливалась від 78,2% у *C. bignonioides* до 86,3% у *C. fargesii*. Успішність ризогенезу автори оцінювали за середньою та сумарною кількістю коренів у одного живця та глибиною їх поширення у субстраті, а також за приростом пагонів.

Китайські вчені [32] розглядали особливості росту, фізіологічний метаболізм і біоаккумуляцію

Cd і мінеральних елементів у міських насадженнях дерев роду *Catalpa* за умов забруднення тропосферним озоном і ґрунту кадмієм. Відмічається, що одночасне забруднення важким металом та тропосферним озоном (O_3), яке зазвичай відбувається у міських районах, де розташовані джерела важкої промисловості, має негативний вплив на стан міських зелених насаджень цього виду. У цьому ж дослідженні однорічні саджанці *Catalpa ovata* G. Don зростали на ґрунті, що був штучно забруднений цим токсикантом у концентрації 0, 100, 500 мг/кг ґрунту. Результати показали, що додавання важкого металу до ґрунту у концентрації 500 мг/кг знижує інтенсивність фотосинтезу, а також збільшує окисні пошкодження на листі *C. ovata*. Крім того, забруднення ґрунту кадмієм знижувало біомасу листя, стебел, коренів і загальну біомасу та впливало на вміст Cd, Mg, Fe і Zn у листках ($P < 0,01$), але не змінювало кількість Mg, Fe й Zn у коренях. Не виявлено негативної дії O_3 на ріст, швидкість фотосинтезу, накопичення Cd та вміст мінеральних речовин у *C. ovata*. Адитивного токсичного впливу Cd і O_3 на ростові процеси, окисне пошкодження листків, інтенсивність фотосинтезу та вміст Cd, Mn, Fe і Zn у тканинах рослин не встановлено. За результатами проведених досліджень вчені стверджують, що *C. ovata* є прийнятною породою дерев для озеленення міст і заліснення міських районів з високим рівнем забруднення повітря.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Добрими індикаторами стану рослин в урботехногенних умовах та показниками їх адаптаційних можливостей є морфометричні параметри вегетативних органів [10–13]. Найчастіше використовується індекс флуктуючої асиметрії листків [14–17]. Дуже чутлива до повітряних полутантів пігментна система рослин [18–20], особливо вміст хлорофілу. Цей показник можна використовувати не тільки для біоіндикації забруднення довкілля [21, 22], але він також є діагностичною ознакою їх стійкості в таких умовах.

Новизна. Виходячи із вищезазначеного, морфо-фізіологічні дослідження рослин *C. bignonioides* в урбогенних насадженнях з різним рівнем аерогеного забруднення в умовах степової зони України є актуальним.

Об'єкт дослідження – дерева *Catalpa bignonioides* Walter, що зростають у зелених насадженнях міста Дніпро.

Предмет дослідження – морфометричні показники пагонів і листків, зміни вмісту пластидних пігментів в залежності від рівня аерогеного забруднення.

Мета даної роботи – визначити вплив урботехногенних умов зростання на приріст пагонів, розвиток асиміляційного апарату та вміст пластидних пігментів у листках.

Об'єкти і методи досліджень. Як об'єкти досліджень використовували рослини *C. bignonioides*

des одного вікового стану – III клас (21–30 років). Контрольні рослини зростали у парку відпочинку смт Обухівка (ділянка 1), яке знаходиться в умовно чистому районі (26 км від м. Дніпро). Дослідні дерева зростали у м. Дніпро: біля найнавантажених автотрас міста пр. О. Поля (ділянка 2) і пр. Б. Хмельницького (ділянка 3), а також у внутрішньоквартальній зеленій зоні житлового масиву Тополя-3 (ділянка 4) (рис. 1). Ділянка 2 розташована у верхній частині пр. О. Поля, ділянка 3 – у частині пр. Б. Хмельницького, що знаходиться в ареалі дії емісій ВАТ «Дніпрошина» (відноситься до п'яти промислових підприємств, що

найбільше забруднюють повітря м. Дніпро) та ПрАТ «Дніпрополімермаш». На обох ділянках 2 і 3 рослини зростають у безпосередній близькості до автошляху – на відстані 1,5 м. У зелених насадженнях ділянки 4 рослини *S. Bignonioides* знаходяться на відстані близько 25 м від автошляху, але вони закрановані багатопверховими будівлями і масивами дерев.

Приріст річних пагонів і довжину міжвузлів визначали загальновідомими методами [33]. Товщину пагонів вимірювали електронним штангенциркулем VerkeV8600. Площу листків встановлювали ваговим методом [34].



Ділянка 1 (парк відпочинку смт. Обухівка)



Ділянка 2 (пр. О. Поля)



Ділянка 3 (пр. Б. Хмельницького)



Ділянка 4 (ж/м Тополя-3)

Рис. 1. Рослини *S. bignonioides* дослідних ділянок

Життєвий стан рослин визначали за 10 – бальною шкалою. Для цього оцінювали такі показники: P_1 – кількість живих гілок у кронах дерев; P_2 – ступінь облистеності крон; P_3 – кількість живих листків в кронах (без некрозів); P_4 – середня кількість живої площі листка. Визначали сумарну оцінку стану дерев (максимально 40 балів). Здійснювали розподіл дерев за шкалою категорій: 39–40 балів – добрий стан; 35–38 – задовільний; менше ніж 35 балів – ослаблені рослини [35].

Розраховували такі морфометричні показники: коефіцієнти видовженості і форми листка [10].

Коефіцієнт видовженості листка розраховували за відношенням його довжини до ширини:

$$K_{BL} = L/B$$

Коефіцієнт форми листка визначали як відношення площі його верхньої частини до нижньої, при цьому листкову пластину на рівні половини її довжини ділили поперечним перерізом на дві частини:

$$K_{FL} = S_t/S_b,$$

де S_t – площа верхньої частини листка, см²; S_b – площа нижньої частини листка, см².

Коефіцієнт флюктуючої асиметрії листків визначали після здійснення вимірів п'яти показників з лівої та правої сторін листка: 1 – ширина половини листка; 2 – довжина жилки другого порядку; 3 – відстань між основою другої і першої жилки; 4 – відстань між кінцями другої і першої жилок; 5 – величина кута між другою головною жилкою від основи листка [15]:

$$X = \sum z/n = (z_1 + z_2 + \dots + z_n)/n$$

$$Z = (y_1 + y_2 + \dots + y_n)/N$$

$$Y = |L - R|/(L + R),$$

де X – інтегральний показник асиметрії; n – кількість листків; z – середня різниця між параметрами для кожного листка; Y – показник, розрахований для кожного вимірюваного параметру – різниця в значеннях ознак між правою та лівою частинами листка.

Вміст пігментів визначали як описано [36] у 100% ацетонової витяжки на фотометрі КФК–3–01–«ЗОМЗ» при довжині хвилі 665, 649 і 440,5. Концентрацію пігментів розраховували за рівнянням Ветштейна у мг/л з наступним обчисленням у мг/г сирової маси листків з урахуванням наважки й розведення. Біометричні показники визначали у 50-кратній повторюваності, вміст пігментів – у 5-разовій.

Виклад основного матеріалу. Ріст визначається не тільки генотипом, але й динамікою екологічних чинників. Приріст пагонів відбиває як процеси життєдіяльності, так і накопичує дію оточуючого середовища. Особливості їх щорічного росту та його тривалість мають суттєве значення у адаптації рослин до умов життя, особливо інтродукованих [37].

Порівняння однорічного приросту пагонів *C. bignonioides* контрольних рослин, які зростають у парку відпочинку смт Обухівка, і дослідних свідчить про його зменшення в урбогенних умовах, особливо за одночасної дії на рослини як викидів автотранспорту, так і промислових емісій на пр. Б. Хмельницького. У меншій мірі пригнічується ріст пагонів у дерев придорожного насадження на пр. О. Поля. Мало відрізняється цей показник від контрольних значень у рослин зелених насаджень житлового масиву Тополя-3.

Приріст деревних рослин – один з найбільш чутливих параметрів і дозволяє судити про ступінь антропогенного забруднення [38]. За даними ряду дослідників спостерігається інгібування цього процесу в урботехногенних умовах. Однак слід відмітити, що у деяких видів відносно стійких деревних рослин навіть за значного рівня забруднення повітря пригнічення росту пагонів не відбувається. У деяких видів дерев навіть може спостерігатись стимулювання росту пагонів [39, 40].

Менша довжина пагонів у *C. bignonioides* в урботехногенних умовах визначається скороченням числа міжвузлів на пагоні (табл. 1). Так їх кількість у рослин на пр. Б. Хмельницького становить 65,33% від контролю, на пр. О. Поля – 79,74%, а в насадженнях житлового масиву Тополя-3 майже не змінюється відносно даних в умовно чистій зоні.

Статистично достовірний негативний вплив урботехногенних умов на довжину міжвузлів однорічних пагонів *C. bignonioides* не виявлений. Це узгоджується з результатами, що були отримані при вивченні росту пагонів *Platanus orientalis* і *Platanus acerifolia* в урботехногенних умовах [41]. У цих видів дерев за дії викидів автотранспорту і промислових емісій пригнічення росту пагонів обумовлене зменшенням числа міжвузлів, в той час як значної несприятливої дії на їх довжину не визначили. За даними Andre [42] та Vinogradova [43], у пагонів *Acer negundo* в насадженнях заводської території КХЗ і примагістральній посадці також спостерігається зменшення кількості метамерів. У дослідях В.М. Гришка [40] зміна довжини однорічних пагонів в умовах забруднення довкілля як при інтенсифікації росту, так і пригніченні відбувається у більшості досліджуваних деревних видів рослин відповідно за рахунок збільшення або скорочення довжини міжвузлів. Проте у пагонів *Betula pendula* при високому рівні забруднення зниження приросту пагонів відбувалося за рахунок скорочення кількості міжвузлів. Зменшення довжини міжвузлів в умовах забруднення спостерігається у інтродукованих видів тополь *Populus italica*, *P. Simonii*, *P. deltoides*, *P. canadensis*, хоча у деяких міжвузлів показник може збільшуватися [44].

Встановлено, що під час внутрішньообронькового морфогенезу на першому етапі формуються примордії листків, потім розвиваються зачатки листків

Таблиця 1

Зміни показників росту однорічних пагонів *Catalpa bignonioides* в урботехногенних умовах

Показник	Контроль (парк смт Обухівка)	Проспект О. Поля	Проспект Б. Хмельницького	Тополя-3
Приріст пагона, см	21,31±0,42	15,64±0,65	12,47±0,68	18,96±0,51
% до контролю		73,39	58,52	88,97
Діаметр пагона, мм	3,92±0,09	3,21±0,05	2,73±0,07	3,35±0,04
% до контролю		81,88	69,64	85,46
Кількість міжвузлів, шт.	7,00±0,21	5,02±0,39	4,10±0,36	6,19±0,24
% до контролю		71,71	58,57	88,42
Довжина міжвузля, см	3,04±0,06	3,11±0,07	3,39±0,21	3,08±0,12
% до контролю		102,30	111,51	101,31

(другий етап) і розростання зачатків проходить на третьому етапі [45, 46]. Отже, закладання метамерів пагона відбувається всередині бруньки в період скритого внутрішньобрунькового росту, а подовження міжвузлів спостерігається під час видимого росту, починаючи з розпускання бруньок. Ймовірно, що характер дії на той чи інший етап росту визначається як видовими особливостями рослин, так і відмінами у складі забруднювачів, що на них діють. Таким чином, можна вважати, що вплив забруднювачів довкілля на ростові процеси пагонів може здійснюватися як внаслідок зміни внутрішньобрунькового морфогенезу, так і безпосереднього пригнічення ростових процесів.

Таким чином, за дії на рослини *C. bignonioides* зменшення однорічного приросту пагонів відбувається за рахунок впливу на закладання його метамерів під час внутрішньобрунькового морфогенезу. Найбільша різниця у довжині пагонів з контрольним варіантом спостерігалася в умовах більш сильного аерогенного забруднення.

Зростання в урбогенних умовах змінює і товщину річних пагонів *C. bignonioides*. Як видно з даних, представлених у таблиці 1, на дослідних ділянках цей показник зменшується відносно контролю, при цьому рівень негативного впливу близький до дії на довжину пагона, про що можна судити за значенням відносно контролю.

Листок – найбільш поліфункціональний орган, який визначає численні процеси від яких залежить активна життєдіяльність рослин. Цей орган зіграв першочергову роль у адаптації рослин у процесі еволюції [47] і продовжує залишатись ведучим органом пристосування до вкрай різноманітних умов довкілля, у тому числі і техногенних [36, 48].

Асиміляційний апарат рослин (площа і чисельність листків) відображає потенціал засвоєння енергії світла і вуглекислого газу, необхідних для процесу фотосинтезу, так і віддзеркалює дію оточуючих чинників [36, 48]. З іншого боку середовищездоров'я роль рослин в урботехногенному середовищі також визначається ступенем розвитку листкової поверхні (осадження пилу, поглинання шкідливих газів, зни-

ження рівня шуму тощо) [39, 50]. Отже, ступінь розвитку листкової поверхні деревними рослинами зелених насаджень визначає їх цінність не тільки з естетичної точки зору, але й санітарно-гігієнічної.

Як видно з таблиці 2 середня площа листка рослин у придорожніх насадженнях на пр. О. Поля і Б. Хмельницького становить 80,42% і 73,61% до контролю відповідно. Зміни цього показника у дерев, що зростають у внутрішньоквартальних зелених зонах (ж/м Тополя-3) не відбувається. Кількість листків на однорічному пагоні зменшується у рослин всіх дослідних варіантів: на 33,75% на пр. О. Поля, на 45,63% на пр. Б. Хмельницького і на 19,38% на ж/м Тополя-3. Для порівняння вкажемо, що площа листків у рослин вуличних насаджень і скверу у місті Львів [49] була меншою порівняно з рослинами парку на 7–38%. Автор визначив пряму залежність між цими показниками та зміною буферної властивості клітин, рН і ΔрН [51]. Зазвичай листки мають велику площу і першими зазнають дії повітряних поллютантів і накопичують їх у своїх клітинах.

Зменшення середньої площі листків і їх кількості призводить до суттєвої зміни загальної асиміляційної поверхні однорічного пагону у рослин насаджень ділянок 2 і 3 відносно значень у парку смт. Обухівка., проте у дерев, що зростають у зелених групах ж/м Тополя-3 (ділянка 4), ці зміни набагато менші (15,96%)

Підрахування кількості листків на модельній гілці, показує що відміни у дерев урбогенних насаджень, на які діють викиди автотранспорту (пр. О. Поля) і полікомпонентне забруднення (пр. Б. Хмельницького) та внутрішньоквартальних зелених зон (ж/м Тополя-3) статистично не достовірні з контролем. Це можна пояснити тим, що у дослідних варіантах 2 і 3 спостерігається більший відсоток підмерзання і підсихання однорічних приростів або верхівкової частини їх гілок, внаслідок чого активніше формуються бічні пагони із сплячих бруньок, відбувається більше їх розгалуження. Проте загальна асиміляційна поверхня модельної гілки скорочується порівняно з такою у рослин заміського парку внаслідок меншої площі листків у рослин дослідних варіантів.

Зміни показників асиміляційного апарату *Catalpa bignonioides* в урботехногенних умовах

Показник	Контроль (парк смт Обухівка)	Проспект О. Поля	Проспект Б. Хмельницького	Тополя-3
Площа листка, см ²	149,63±7,85	120,34±5,40	110,25±3,37	135,16±2,14
% до контролю		80,42	73,68	90,32
Кількість листків на однорічному пагоні, шт.	8,00±0,42	5,30±0,36	4,35±0,37	6,45±0,21
% до контролю		66,25	54,37	80,62
Площа листків на однорічному пагоні, см ²	1197,04±22,17	637±28,51	479,58±18,34	871,78±18,21
% до контролю		53,21	40,06	72,83
Кількість листків на модельній гілці, шт.	135,84±5,74	130,31±10,13	125,60±8,76	125,40±4,20
% до контролю		95,93	92,46	92,31
Асиміляційна поверхня модельної гілки, см ²	20733,59±101,5	15681,50±70,38	13847,40±65,11	16949,06±9,32
% до контролю		75,63	66,79	81,75

Визначено життєвий стан дерев *C. bignonioides*, що зростають на дослідних ділянках. Найвищим балом оцінені рослини контрольного варіанту – смт Обухівка (39,1 балів), найменшим – на пр. Б. Хмельницького (35,7 балів). Древа дослідної ділянки 2 (пр. О. Поля) отримали 38,1, а ж/м Тополя-3 – 38,9 балів. Отже, *Catalpa bignonioides* перебуває у доброму стані у контрольному варіанті і внутрішньоквартальних насадженнях ж/м Тополя-3, у доброму стані знаходяться дерева також на пр. О. Поля, але на межі із задовільним станом. На ділянці 3 (пр. Б. Хмельницького) життєвий стан рослин оцінено як задовільний. Однак, в цілому дерева зберігають декоративність на всіх дослідних

ділянках. І хоча крона у рослин ділянок 2, в більшій мірі 3 дещо зріджена, проте великі зелені листки з практично повною відсутністю будь-яких ушкоджень маскують наявність невеликих сухих гілок. Слід зазначити, що незначні ушкодження листків з'являються в кінці вегетації.

Коефіцієнт видовженості листкової пластинки має найбільшу величину у контролі і на дослідній ділянці з найменшим антропогенним впливом (насадження ж/м Тополя-3). Мінімальні його значення встановлені за сумісної дії на рослини автомобільних і промислових викидів (табл. 3). Слід зазначити, що великої різниці у величинах коефіцієнту видовженості листків за варіантами не визначено.

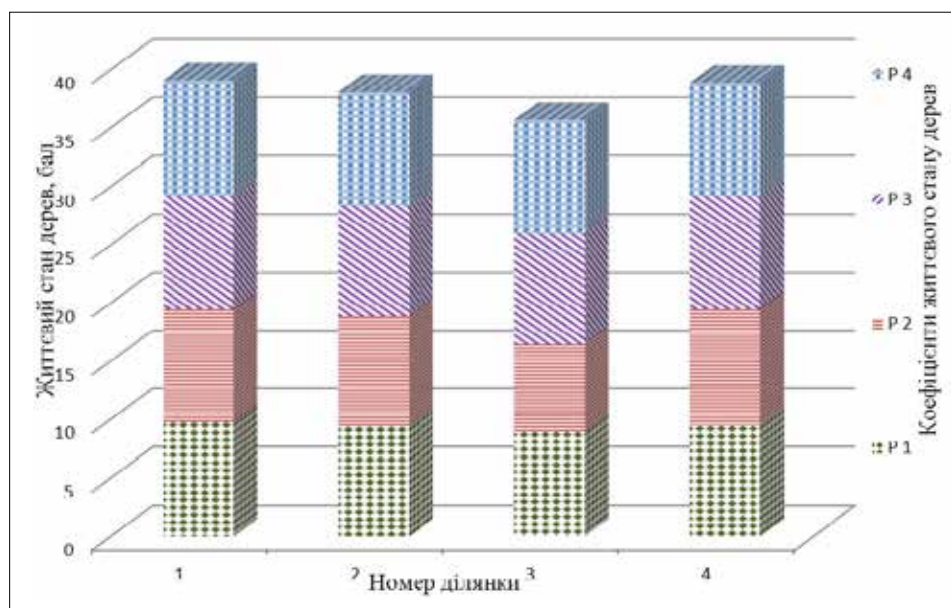


Рис. 2. Життєвий стан дерев *C. bignonioides* в різних умовах зростання 1 – контроль; 2 – пр. О. Поля; 3 – пр. Б. Хмельницького; 4 – ж/м Тополя-3

Таблиця 3

Значення морфометричних коефіцієнтів листків *C. bignonioides* у різних умовах зростання

Показник	Ділянка			
	1	2	3	4
Коефіцієнт видовженості листка	1,42±0,01	1,36±0,01	1,27±0,02	1,40±0,005
Коефіцієнт форми листка	0,64±0,01	0,62±0,02	0,61±0,01	0,63±0,01
Коефіцієнт флюктуючої асиметрії	0,034±0,002	0,045±0,002	0,048±0,001	0,036±0,002

Коефіцієнт форми листка практично однаковий незалежно від місця зростання дерев *C. bignonioides*.

Стабільність розвитку рослин відображає коефіцієнт флюктуючої асиметрії листкових пластинок. Цей показник, на відміну від попереднього індексу, відрізняється за умовами різного рівня несприятливого впливу забруднення довкілля на рослини. У рослин, що зростають у зелених насадженнях ж/м Тополя-3, його величина за шкалою відхилення стану організму від умовної норми [15] відповідає оцінці 2 – незначне відхилення від норми. На ділянках зі значним антропогенним пресингом 2 і 3 коефіцієнт флюктуючої асиметрії листкових пластинок виражається числами, які відповідають середньому рівню відхилення від норми.

Вміст фотосинтетичних пігментів в листках – показник, що чутливо реагує на повітряні полутанти [36, 48, 52]. Негативна дія на вміст пігментів інгібує фотосинтетичні процеси, що викликає зниження процесів росту і розвитку та погіршення естетичного вигляду рослин. Тому важливе визначення впливу урбогенних умов зростання на кількісні показники пластидних пігментів.

Встановлено, що в листках *C. bignonioides*, що зростає у придорожньому насадженні на пр. О. Поля і за сумісної дії на рослини цього виду промислових і автомобільних викидів (пр. Б. Хмельницького) вміст суми хлорофілів ($a+v$) у листках менший порівняно з контролем (табл. 4).

Різниця між значеннями кількості зелених пігментів (хлорофіл $a+v$) у листках контрольного й дослідних варіантів (ділянки 2 і 3) збільшується в міру верегатації і найсуттєвіша вона в серпні – 22,62 і 29,35% відповідно. Зменшення цього показника відбувається переважно за рахунок хлорофілу a .

У рослин *C. bignonioides*, які зростають на ж/м Тополя-3, у вмісті суми зелених пігментів у листках у всі місяці досліджень статистично достовірної різниці з контролем не виявлено.

Рівень падіння кількості хлорофілу a в листках порівняно з контролем найбільший в серпні, він становить на пр. О. Поля на 28,83%, на пр. Б. Хмельницького – 33,48 (табл. 5).

У дерев зростаючих на ж/м Тополя-3, відміни у вмісті цієї форми зелених пігментів невеликі. Що стосується хлорофілу v , то суттєвої різниці за ступенем зменшення його концентрації стосовно контрольних значень за місяцями досліджень не спостерігається. У листках рослин на пр. О. Поля у червні достовірна різниця з контролем у вмісті цієї форми хлорофілу відсутня, а у липні і серпні рівень зниження майже однаковий. У листках рослин на пр. Б. Хмельницького кількість хлорофілу v нижча, ніж у контролі (у черні на 14,71, липні – 20,52, серпні – 19,11%), але кількісні зміни менші порівняно з хлорофілом a .

Зміни вмісту хлорофілу v в листках дерев, зростаючих у зелених насадженнях ж/м Тополя-3, порівняно з контролем у всі місяці досліджень статистично не достовірні. Отже, в умовах слабого забруднення повітря пігментний апарат листків *C. bignonioides* проявляє стійкість, в той час як на ділянках 2 і 3 з більш високим рівнем забруднення вміст зелених пігментів менший, ніж у листках контрольних дерев.

Щодо ступеня негативного впливу забруднювачів довкілля на вміст цієї чи іншої форми хлорофілу, немає єдиної закономірності. В дослідженнях одних авторів визначена більш суттєва дія на вміст хлорофілу a [48, 53] в досліді інших – v [39, 49, 54]. Це можна пояснюється специфікою реакції різних видів

Таблиця 4

Вміст суми хлорофілів ($a+v$) у листках *C. bignonioides* за різних умов зростання, мг·г⁻¹ сирової маси

Варіант	Червень	% до контролю	Липень	% до контролю	Серпень	% до контролю
Контроль	3,13±0,08		4,01±0,12		3,14±0,07	
Пр. О. Поля	2,79±0,06	89,13	3,25±0,10	81,05	2,43±0,08	77,38
Проспект Б. Хмельницького	2,60±0,09	83,06	3,23±0,09	80,54	2,25±0,12	71,65
Тополя-3	2,92±0,06*	93,29	3,57±0,08*	89,02	2,87±0,09*	91,40

Примітка: * – різниця з контролем статистично не достовірна.

Таблиця 5

Вміст хлорофілів *a* і *b* у листках *C. bignonioides* за різних умов зростання, мг·г⁻¹ сирової маси

Варіант	Хлорофіл <i>a</i>			Хлорофіл <i>b</i>		
	червень	липень	серпень	червень	липень	серпень
Контроль	2,15±0,04	2,84±0,08	2,30±0,06	1,02±0,03	1,17±0,04	0,89±0,02
Пр. О. Поля	1,83±0,09	2,27±0,07	1,66±0,07	0,92±0,03	0,98±0,02	0,77±0,03
% до контролю	85,11	79,92	72,17	90,19	83,76	86,52
Прспект Б. Хмельницького	1,73±0,07	2,03±0,11	1,53±0,08	0,87±0,02	0,93±0,03	0,72±0,03
% до контролю	80,46	71,47	66,52	85,29	79,48	80,89
Тополя-3	2,01±0,06*	2,48±0,07	1,95±0,05	0,91±0,04*	1,09±0,04*	0,92±0,04*
% до контролю	93,48	87,32	84,78	89,21	93,16	103,37

Примітка: * – різниця з контролем статистично не достовірна на 0,05% рівні значущості.

рослин на неоднаковий характер забруднюючих речовин.

Кількість каротиноїдів у всі місяці досліджень менша порівняно з контрольними значеннями у листках дерев *C. bignonioides*, що зростають на пр. Б. Хмельницького, а в липні і серпні – у листках рослин насаджень на пр. О. Поля (табл. 6).

Такий характер змін вмісту жовтих пігментів несприятливо позначається на фотосинтезі, враховуючи важливу їх роль у цьому процесі. Каротиноїди розширюють світловий діапазон, що використовується при фотосинтезі. Значна їх роль як фотопротекторів фотосинтетичного апарату [55, 56]. Вони також усувають надлишок активних форм кисню, захищають пігменти і ненасичені жирні кислоти ліпідів від окислювального пошкодження [57]. У рослин внутрішньоквартальних насаджень ж/м Тополя-3 статистично достовірної різниці з контролем у кількості каротиноїдів не спостерігали.

Таким чином, слід констатувати помірну негативну дію урботехногенних умов зростання (ділянки 2 і 3) на морфометричні показники пагонів і листків, вміст у них пластидних пігментів (хлорофіл і каротиноїди) дерев *C. bignonioides*, за винятком змін концентрації хлорофілу *a*, зниження якої перевищує 20,0 і 28,5% у липні і 27,8 і 33,4% у серпні відповідно, стосовно контрольних значень. В урботехногенних умовах за відсутності близького розташування джерел забруднення (внутрішньоквартальні наса-

дження ж/м Тополя-3) величини деяких морфометричних показників і вміст пластидних пігментів не відрізняються від контролю. Рослини *C. bignonioides* на дослідних ділянках 2 і 4 зберігають досить добрий життєвий стан, при полікомпонентному забрудненні довкілля (ділянка 3) – задовільний. Проте, слід відзначити доволі високий рівень декоративності дерев на всіх ділянках, який обумовлений яскраво-зеленим великим листям, майже повною відсутністю їх ушкодження, яке з'являється у кінці вегетації, рясним цвітінням. Доцільно ширше використовувати рослину екзот *C. bignonioides* в різного типу зелених насадженнях промислових міст північного степу України.

Головні висновки:

1. В урботехногенних умовах зростання дерев *C. bignonioides* довжина річного приросту пагонів коротша, ніж у контрольному варіанті. За ступенем зменшення цього показника, порівняно з рослинами контролю, дослідні ділянки можна розташувати таким чином: пр.Б. Хмельницького (промислові та автомобільні викиди) > пр.О. Поля (автомобільні викиди) > ж/м Тополя-3. Зменшення приросту відбувається внаслідок скорочення числа міжвузлів, а не їх довжини, що свідчить про суттєвіший негативний вплив аерогенних забруднювачів на закладання метамерів пагонів під час внутрішньобрунькового морфогенезу.

2. Несприятлива дія забруднювачів на дослідних ділянках на ріст однорічних пагонів в тов-

Таблиця 6

Вміст каротиноїдів у листках *C. bignonioides* за різних умов зростання

Варіант	Червень	% до контролю	Липень	% до контролю	Серпень	% до контролю
Контроль	0,35±0,012		0,40±0,007		0,37±0,006	
Пр. О. Поля	0,34±0,010	97,14	0,35±0,005	87,50	0,30±0,008	81,08
Прспект Б. Хмельницького	0,30±0,009	85,71	0,31±0,011	77,50	0,26±0,010	70,27
Тополя-3	0,36±0,011*	102,86	0,39±0,001*	97,50	0,34±0,005*	91,89

Примітка: * – різниця з контролем статистично не достовірна.

щину близька до впливу на довжину пагона (% до контролю).

3. Середня площа листків дерев *C. bignonioides*, на які діють як комплекс забруднювачів (промислові і автомобільні викиди – пр. Б. Хмельницького), так і автомобільні вихлопи (пр. О. Поля), менша стосовно контрольних значень. На ділянці, що розташована на значній відстані від джерел забруднення (ж/м Тополя-3), статистично достовірних змін площі листка, порівняно з контролем, не відбувається. Кількість листків на однорічному прирості зменшується у всіх дослідних варіантах, що свідчить про інгібування їх закладання.

4. Урбогенні умови зростання практично не впливають на чисельність листків на модельній гілці рослин *C. bignonioides* порівняно з контролем. Це пояснюється більш інтенсивним галушенням гілок внаслідок суттєвішого обмерзання верхівок пагонів на ділянках з більшим рівнем забруднення (зняття апікального домінування). Проте загальна асиміляційна поверхня модельних гілок скорочується через зменшення площі листків.

5. У листках рослин *C. bignonioides* на дослідних ділянках із забрудненням довкілля автомобільними викидами (пр. О. Поля) і поллютантами полікомпонентного складу (пр. Б. Хмельницького) визначено менший вміст зелених пігментів, переважно хлорофілу *a*, ніж у контролі. Ця різниця зростає в міру вегетації. Вміст каротиноїдів у листках рослин цих ділянок також зменшений стосовно контрольних значень, окрім показників у червні у рослин ділянки 2 (пр. О. Поля).

6. Аналіз життєвого стану дерев *C. bignonioides* та рівня негативного впливу викидів автотранспорту (ділянка 2) та комплексного забруднення (автотранспортні та промислові викиди – ділянка 3) на морфометричні показники пагонів і листків та вміст в останніх пластидних пігментів (хлорофіл, каротиноїди) свідчить про достатню стійкість дерев даного виду за цих умов зростання. Ще кращими показниками характеризуються рослини внутрішньоквартального озеленення ж/м Тополя-3. Це вказує на можливість більш широкого застосування екзота-інтродуцента *C. bignonioides* у насадженнях різного типу промислового міста в північному степу України.

Література

1. Stolberg Y. Environmental Governance for Cities, Municipalities and Communities / [editors: M. Kozova, F. Stolberg, Y. Vergeles, A. Scrgan; V. Babayev, D. Dyadin, J. Jilková and oth.]. – Bratislava : Comenius University in Bratislava, 2014. 322 p.
2. Левон Ф.М. Зелені насадження в антропогенно трансформованому середовищі. Київ: ННЦ ІАЕ, 2008. 364 с.
3. Stratu A., Costica N., Costica M. Wooden species in the urban green areas and their role in improving the quality of the environment. *Present Environment and Sustainable Development*. 2016. 10 (2). P. 173–184. DOI:10.1515/pesd-2016-0035
4. Salmond J.A., Tadaki M., Vardoulakis S., Arbuthnott K., Coutts A., Demuzere M., Dirks K.N., Heaviside C., Lim S., Macintyre H., McInnes R. N., Wheeler B. W. Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health*. 2016. 15 (Suppl 1). P. 36. DOI: 10.1186/s12940-016-0103-6
5. Nowak David J., Hirabayashi S., Doyle M., McGovern M. (2018). Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*. 29. P. 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.019>
6. Собко В.Г., Гапоненко М.Б. Інтродукція рідкісних і зникаючих рослин флори України. Київ: Наукова думка, 1996. 284 с.
7. Dong W., Liu Y., Li E., Xu C., Sun J., Li W., Zhou S., Zhang Z., Suo, Z. Phylogenomics and biogeography of *Catalpa* (Bignoniaceae) reveal incomplete lineage sorting and three dispersal events. *Mol Phylogenet Evol*. 2022. 166:107330 DOI: 10.1016/j.ympev.2021.107330
8. Кухарська М. О. Представники роду *Catalpa* Scop. у зелених насадженнях міста Києва. *Наук. вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2010. 147. С. 34–41.
9. Xiao W., Gong D., Li X., Guo P., Sun, G. Quality grade evaluation and related antioxidant activity research of different medicinal parts of *Catalpa* fruit. *Anal Methods*. 2022. 14(32). P. 3134–3144. DOI: 10.1039/d2ay00919f
10. Ганжа Д. Морфологічна реакція листків тополі в різних умовах урботехногенного навантаження. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2012. 60. С. 163–170.
11. Савосько В.М., Домшина К.М., Савосько В.В. Морфологічні особливості листків берези повислої культурдендропарків степу в умовах промислового міста. *Питання біоіндикації та екології*. 2013. 18 (2). С. 121–133.
12. Rodriguez-Santamaria K., Zafra-Mejia C.A., Rondon-Quintana H.A. Macro-Morphological Traits of Leaves for Urban Tree Selection for Air Pollution Biomonitoring. *A Review. Biosensors (Basel)*. 2022. 12(10). P. 812. DOI: 10.3390/bios12100812
13. Бессонова В.П., Чонгова А.С. Морфометричні показники деревних рослин в індикації забруднення довкілля. *Екологічні науки*. 2023. 1 (46). С. 102–108. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.18>
14. Freemar D.C., Graham J.H., Emlen J.M. Developmental stability in plants: symmetries, stress and epigenesis developmental instability: its origins and evolutionary implications/ D.C. Freemar. Kluwer Academic Publishing. 1994. P. 99–121.
15. Легета У.В., Ситнікова І.О. Оцінка екологічного стану територій Чернівецької області за інтегральним показником флуктуючої асиметрії (на прикладі *Tussilago farfara* L.). *Природничий альманах*. 2009. 13. С. 98–104.
16. Петрушкевич Ю. М. Вплив промислових умов на величину флуктуючої асиметрії листкової пластинки *Betula pendula*. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія*. 2018. 1 (72). С. 82–89.
17. Складенко А.В. Оцінювання впливу промислових умов на величину флуктуючої асиметрії листкової пластинки *Betula pendula*. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. 29 (6). С. 54–57. DOI:10.15421/40290611
18. Юсипів Т. І., Самко О. В. Вплив SO₂ та NO₂ на динаміку хлорофілу в листках самосіву деревних рослин. *Вісн. Миколаїв. ун-ту. Сер. біол. науки*. 2009. Вип. 24. № 4 (1). С. 282–287.

19. Голуб В. О., Волошинська С. С., Голуб С. М. Адаптаційні зміни пігментного комплексу рослин приавтомагістральних смуг дороги М-07 Київ – Ковель – Ягодин за дії іонів важких металів. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій* : зб. наук. пр. / за заг. ред. Ф. В. Зузука. Луцьк, 2017. Т. II. Біологія. 14. С. 50–55.
20. Bessonova V. P., Chongova A. S., Sklyarenko A. V. Influence of multicomponent contamination on the content of photosynthetic pigments in the leaves of woody plants commonly planted for greening of cities *Biosyst. Divers.* 2020. 28(2). P. 203–208 doi: 10.15421/012026
21. Sen A., Khan I., Kundu D., Das K., Datta, J.K. Ecophysiological evaluation of tree species for biomonitoring of air quality and identification of air pollution-tolerant species. *Environmental Monitoring and Assessment.* 2017. 186 (6). P. 262. DOI: 10.1007/s10661-017-5955-x
22. Масікевич А. Ю. Фотосинтетичні індикатори стану забруднення атмосферного повітря Покутсько-Буковинських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2019. т. 29. № 9. С. 87–91. DOI: <https://doi.org/10.36930/40290915>
23. Кульбіцький В. Л. Оцінка успішності інтродукції катальпи в умовах культури Правобережного Лісостепу України. *Науковий вісник УкрДЛТУ України.* 2006. 16.3. С. 21–25.
24. Кухарська В.А., Китаєв О.І. Оцінка морозостійкості представників роду *Catalpa scop.* методом диференційного термічного аналізу. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2009. 9 (15). С. 50–56.
25. Голуб В.О., Голуб С.М. Оцінка біологічних особливостей видів роду *Catalpa scop.*, інтродукованих у Волинській області. *Вивчення і збереження біорізноманіття біоценозів України.* 2021. С. 17–19.
26. Гавриленко Н.О. Особливості перебігу життєвого циклу деревних рослин соціологічного статусу в умовах зрошуваної культури дендропарку «Асканія-Нова». *Екологічні науки.* 2022. 2 (41). С. 84–88. DOI: 10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.14
27. Немченко М.В., Бессонова В.П. Оцінка стану рослин *Catalpa bignonioides* Walt. та *C. speciosa* Ward. в умовах придорожньої лісосмуги. *Інтродукція рослин.* 2009. 2. С. 85–89.
28. Лепік М.В., Бессонова В.П. Ріст пагонів та пошкодження листків *Catalpa bignonioides* Walt. в умовах техногенного навантаження. *Інтродукція рослин.* 2008. 1. С. 71–76.
29. Скляренко А.В., Бессонова В.П. Вміст водорозчинних фенолів в листках деревних рослин санітарно-захисних зон заводів промислової зони Запоріжжя. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Біологія.* 2020. 34. С. 175–184. DOI: 10.26565/2075-5457-2020-34-18
30. Кульбіцький В.Л., Шлапак В.П., Маслова С.А. Регенераційна здатність зелених живців видів роду *Catalpa Scop.* у Правобережному Лісостепу України. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2018. 28 (10). С. 9–12. DOI: 10.15421/40281001
31. Кульбіцький В.Л., Шлапак В.П. Коренетворна здатність здерев'янілих живців видів роду *Catalpa scop.* в умовах Правобережного Лісостепу України. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2015. 25. 6. С. 58–64.
32. Xu S., He X.Y., Du Z., Chen W., Li B., Li Y., Li M.H., Schaub M. Tropospheric ozone and cadmium do not have interactive effects on growth, photosynthesis and mineral nutrients of *Catalpa ovata* seedlings in the urban areas of Northeast China. *Sci Total Environ.* 2020. 704, P. 135307. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135307
33. Методика кваліфікаційної (технічної) експертизи сортів рослин з визначення показників придатності до поширення в Україні. Київ: ТОВ «Алефа», 2011. 103 с.
34. Величко Л. Н. Практикум з фізіології рослин. Умань, 2006. 76 с.
35. Vitenko V. A., Vayra O. M., Kozachenko I. V. Methodology for the Comprehensive Assessment of the State of Decorative Plants on the Example of Decorative Forms of *Morus alba* L. *Scientific Bulletin of UNFU.* 2019. 29(7). P. 13–16. <https://doi.org/10.15421/40290702>
36. Бессонова В.П. Практикум з фізіології рослин. Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ. 2006. 316 с.
37. Роговський С.В. Основні завдання та методи дослідження етапів інтродукції рослин. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2011.21.12. С. 72–87.
38. Гришко В.Н., Сищиков Д.В., Піскова О.М., Данільчук О.В., Машталер Н.В. Важкі метали: надходження в ґрунт, транслокація у рослинах та екологічна безпека. Донецьк. 2012. 303 с.
39. Бессонова В.П. Фітоіндикація та фітомоніторинг. Навчальний посібник. Дніпровський державний аграрно-економічний університет. Дніпро: Герда 2024. 206 с.
40. Григорюк І. П., Яворовський П. П. Оцінка стійкості видів дерев і газонних трав до урбогенних стресових чинників. Роль ботанічних садів і дендропарків у збереженні та збагаченні біологічного різноманіття урбанізованих територій: Матеріали міжнародної наукової конференції (Київ, 28–31 травня 2013 р.) / Гол. ред. В. Г. Радченко. – Київ: НЦЕБМ НАН України, ПАТ «Віпол», 2013. С. 65–66.
41. Капелюш Н.В., Бессонова В.П. Біологія платанів в урботехногенних умовах степової зони України. Запоріжжя: Дике Поле, 2010. 195 с.
42. Andre O., Vollenweider P., Günthardt-Goerg M.S. Foliage response to heavy metal contamination in Sycamore Maple (*Acer pseudoplatanus* L.) *For. Snow Landsc. Res.* 2006. 80. P. 275–288.
43. Vinogradova E. N. Morphometric analysis of the annual shoot of the *Acer negundo* L. plants, growing in conditions of exposure to technogenic pollution of Donbass. *Sam. Journal of Science.* 2016. 5 (3). С. 13–17.
44. Данільчук О.В., Гришко В.М. Оцінка стану насаджень тополь на промислових майданчиках гірничорудних підприємств. *Агробіологія.* 2012. 8. С. 57–61.
45. Вітенко В.А. Особливості індивідуального розвитку (онтогенезу) *Morus Alba* L. та її декоративних форм в умовах національного дендропарку «Софіївка» НАН України. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2011. 21. 4. С. 39–46.
46. Герц. Н.В. Особливості морфогенезу бруньок і пагонів у видів роду *Acer l.* *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол.* 2013. 3 (56). С. 10–17.
47. Довідник з біології / Т.Л. Богданова [та ін.]; ред. К. М. Ситник. Київ: Наукова думка. 1998. 683 с.

48. Коршиков І.І. Адаптація рослин за умов техногенно забрудненого середовища: Автреф. дис. ... д-ра біол. Київ. 1994. 58 с.
49. Гнатів П.С. Функціональна діагностика в дендроекології. Львів: Камула, 2014. 336 с
50. Зайцева І. О., Долгова Л. Г. Фізіолого-біохімічні основи інтродукції деревних рослин у степовому Придніпров'ї. Д.: Вид-во ДНУ, 2010. 388 с.
51. Гнатів П.С., Мазепа М.Г., Артемовська Д.В., Ган Т.В. Буферні властивості та морфо-анатомічні ознаки листків у техногенних умовах зростання дерев. *Науковий вісник УКРДЛТУ*. 2000. Вип. 10.2. С. 87–90.
52. Nagajyoti P.C., Lee K.D., Sreekanth T.V.M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants. *A review. Environ. Chem. Lett.* 2010. 8. P. 199–216. doi: 10.1007/s10311-010-0297-8. – DOI
53. Bessonova V. P., Ponomaryova O. A. Morphometric characteristics and the content of plastid pigments of the needles of *Picea pungens* depending on the distance from the highways. *Biosystems Diversity*. 2017. 25 (2). P. 96–101. doi:10.15421/011714
54. Капелюш Н.В. Динаміка хлорофілу у листках *Platanus Orientalis l.* та *P. Acerifolia willd.* за умов забруднення середовища. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*. 2006. 14 (1). P. 76–80. DOI: <https://doi.org/10.15421/010615>
55. Kajama Y. Structures and function of carotenoids in photosynthetic systems. *Photochem. Photobiol. Ser. Biol.* 9. 1991. P.265–280.
56. Frank H.A. Incorporation of carotenoids into reaction center and light-harvesting pigment-protein complex. /Eds Frank H.A. et al. *Dordrecht Kluwer Acad. Publ.* 1999. P. 235–244.
57. Edge R., McGarvey D.J., Truscott T.G. The carotenoids as antioxidants – a Review. *Photochem. Photobiol. Ser. Biol.* 1997. 41. P. 41–47.