

В. П. Бессонова¹✉, С. О. Яковлєва-Носарь², О. Є. Іванченко¹

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

²Хортицька національна академія, вул. Наукового містечка, 59,
м. Запоріжжя, Україна, 69017

СТАН ПРИДОРОЖНІХ НАСАДЖЕНЬ *QUERCUS ROBUR* L. ЗА УРБОТЕХНОГЕННИХ УМОВ м. ДНІПРО

Оцінено життєвий стан та проаналізовано зміни морфометричних параметрів вегетативних органів (річний пагін, листя), сирої і сухої маси листків та вмісту в них пластидних пігментів у рослин *Quercus robur* L. придорожніх насаджень за умов різного якісного і кількісного забруднення атмосферного повітря. Дослідження проводилися з травня по серпень 2025 р. на трьох ділянках, на яких уздовж автомобільних шляхів зростають 25–30-річні дерева цього виду. Контрольна ділянка (1) локалізована в умовно чистій зоні – у деревному насадженні с. Орільське Дніпропетровської області. Придорожнє насадження ділянки 2 розташоване на вул. О. Гончара, ділянки 3 – на вул. 6-ї Стрілецької Дивізії у місці її розмежування з вул. Набережна Перемоги. Зелені насадження ділянок 2 і 3 розташовані поруч із автошляхами, що відрізняються інтенсивністю руху автотранспорту, а ділянка 3 додатково зазнає промислового забруднення. У всіх варіантах дерева *Q. robur* характеризуються добрим життєвим станом і високою декоративністю. За умов забруднення довкілля відзначається зменшення довжини і товщини річного пагона, особливо виражене на ділянці 3. Кількість метамерів на річному пагоні у всіх варіантах є практично однаковою. Установлено скорочення площі фотосинтетичної поверхні пагона, що пов'язане зі зменшенням середньої площі листків. Їх кількість на пагоні не змінюється. За умов забруднення, особливо комплексного, знижується сира і суха маса листків, проте збільшується питома поверхнева щільність цих органів. У дерев на ділянці 3 спостерігається скорочення довжини листової пластинки. На обох забруднених ділянках зменшується довжина черешка і максимальна ширина листка по лопатях, а максимальна ширина листових пластинок по бухтах не зазнає змін порівняно з контрольними величинами. Максимальні концентрації хлорофілів *a* і *b* визначаються у червні у всіх варіантах дослідження. Забруднення довкілля виявляє менш виражений негативний вплив на вміст хлорофілу *b*, ніж на хлорофіл *a*. Дія полютантів викликає підвищення рівня каротиноїдів у листках *Q. robur* відносно контролю, у найбільшій мірі – у червні. У рослин, що зазнають комплексного впливу токсикантів (ділянка 3), спостерігається істотніше підвищення рівня цих пластидних пігментів, що має адаптаційне значення при зростанні за урбогенних умов.

Ключові слова: дуб звичайний, примагістральні насадження, біометричні показники вегетативних органів, сира і суха маса листків, рівень пластидних пігментів.

✉ E-mail: valentinabessonova492@gmail.com

V. P. Bessonova¹✉, S. O. Yakovlieva-Nosar², O. E. Ivanchenko¹

¹*Dnipro State Agrarian and Economics University, Dnipro, Ukraine*

²*Khortytsia National Academy, Zaporizhzhia, Ukraine*

THE STATE OF ROADSIDE PLANTINGS OF *QUERCUS ROBUR* L. UNDER URBAN TECHNOLOGICAL CONDITIONS IN THE CITY OF DNIPRO

The vital condition was assessed and changes in the morphometric parameters of vegetative organs (annual shoots, leaves), wet and dry leaf mass, and plastid pigment content in *Quercus robur* L. roadside plantings were analyzed under conditions of varying qualitative and quantitative atmospheric pollution. The research was conducted from May to August 2025 on three sites where 25-30-year-old trees of this species grow along motorways. The control area (1) is located in a conditionally clean area – in a tree plantation in the village of Orilsk, Dnipropetrovsk region. The roadside plantation of trial area 2 is located on O. Gonchar Street, and trial area 3 is located on 6th Rifle Division Street at its intersection with Naberezhna Peremohy Street. The green plantings of trial areas 2 and 3 were located next to roads with heavy traffic, and area 3 was additionally exposed to industrial pollution. In all variants, *Q. robur* trees are characterized by good health and high decorative value. Under conditions of environmental pollution, there is a decrease in the length and thickness of annual shoots, which is especially pronounced in trial area 3. The number of metameres on the annual shoot is the same in all variants. A reduction in the photosynthetic surface area of the shoot has been established, which is associated with a decrease in the average leaf area. Their number on the shoot does not change. Under conditions of pollution, especially complex pollution, the wet and dry mass of leaves decreases, but the specific surface density of these organs increases. In trees in trial area 3, a reduction in the length of the leaf blade is observed. In both polluted areas, the length of the petiole and the maximum width of the leaf along the blades decrease, while the maximum width of the leaf blades along the lobes does not change compared to the control values. The maximum concentrations of chlorophylls *a* and *b* are determined in June in all variants of the study. Environmental pollution has a less pronounced negative effect on chlorophyll *b* content than on chlorophyll *a*. The action of pollutants causes an increase in the level of carotenoids in the leaves of *Q. robur* relative to the control, most significantly in June. In plants exposed to the combined effects of toxicants (trial area 3), a more significant increase in the level of these plastid pigments is observed, which is of adaptive importance when growing under urban conditions.

Keywords: common oak, primeval forest, biometric indicators of vegetative organs, fresh and dry leaf mass, plastid pigment levels.

Вступ

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Місто Дніпро є одним із найбільших урботехногенних центрів України з великою кількістю промислових підприємств (близько 200), які забруднюють атмосферне повітря численними токсичними речовинами. Значна роль у цьому належить також автотранспорту, вихлопні гази якого містять до 200 шкідливих компонентів. Серед них переважають оксиди сірки, азоту і вуглецю [17, 19]. Уведення

оздоровлювальних заходів у зонах напружених автомагістралей є вельми актуальною проблемою. Одним із компонентів, що зменшує забруднення повітря природного середовища викидами автотранспорту, є рослинність. Придорожні зелені насадження виконують істотну санувальну роль, поглинаючи гази та осаджуючи пил. Проте, виконуючи захисні функції, рослини, що зростають уздовж автошляхів, зазнають суттєвого техногенного навантаження через значну трансформацію умов їх зростання. Зниження життєвості рослин зумовлене насамперед забрудненням повітря і ґрунту. Шкідливий вплив газоподібних речовин і аерозолів позначається в першу чергу на асиміляційних органах [18].

За умов трансформації міських екосистем актуальною є проблема формування багаторічних насаджень із високими адаптаційними можливостями до впливу антропогенних чинників і значним ступенем життєздатності деревних рослин [13]. Проблеми озеленення промислових міст степової зони у зв'язку з особливостями екологічних факторів і потеплінням клімату привертають особливу увагу [27, 29].

Аналіз основних наукових досліджень і публікацій. З метою використання в урбогенних насадженнях заслугоує на увагу дуб звичайний. Ряд дослідників зазначають його високі декоративні якості [23, 30].

Дендрохронологічні дослідження деревостанів дуба звичайного за період 1965–2005 рр., які зростають у зеленій зоні м. Львів та у сфері викидів ВАТ «Миколаївцемент», здійснили В. Г. Мазепа та ін. [12]. Автори виявили тісний обернений зв'язок між радіальним приростом обстежених дерев і ступенем атмосферного забруднення.

У публікаціях В. С. Більчук зі співавт. [6, 7] досліджено вплив різних рівнів забруднення повітря викидами автотранспорту на життєвий стан дерев і вміст пластидних пігментів у листках дуба звичайного на території м. Дніпро. На жаль, у цих роботах не вказана конкретна інтенсивність руху транспортних засобів (шт./доба) на дослідних ділянках, а вміст фотосинтетичних пігментів у листках дуба звичайного наведений лише за один місяць (липень), що не дозволяє сформувати уявлення про реакцію пігментної системи листків на забруднення на різних стадіях їх розвитку. З таблиці, що розміщена у розділі колективної монографії [7], написаному цими самими авторами, не зрозуміло, стосовно вмісту асиміляційних пігментів якої рослини (дуб звичайний чи клен ясенolistий) йдеться. У зв'язку із вищезазначеними обставинами унеможливується порівняння одержаних указаними авторами даних із результатами інших досліджень.

Метою роботи Л. В. Шупранової зі співавт. [20] була оцінка дії різного рівня контамінації довкілля м. Дніпро вихлопами автотранспорту на концентрацію хлорофілів і каротиноїдів у листках дуба звичайного різного життєвого стану. Для досліджень обрано три групи модельних дерев цієї породи 20–30-річного віку із близькими морфолого-таксаційними ознаками. Ділянка з низьким рівнем забруднення розташована в центральній частині парку ім. Т. Г. Шевченка на відстані 100 м від автодороги з інтенсивністю руху 3,1 тис. автомобілів на добу; ділянка зі середнім рівнем – у придорожньому насадженні дуба звичайного на вул. Кедріна зі середньою інтенсивністю руху 7,44 тис./доба; ділянка із високим рівнем руху автотранспорту (21,3 тис./доба) локалізується у невеликій зеленій зоні на вул. Робітничій. Життєвий стан рослин

дуба звичайного встановлювали візуально за ступенем пошкоджень листків та гілок рослин; при цьому переважали дерева I категорії (відносно здорові). Визначення вмісту пластидних пігментів проводилося також лише в середині липня.

Викладені вище факти свідчать про необхідність більш ширшої оцінки дії техногенної контамінації довкілля на дуб звичайний із залученням даних морфометричних досліджень, визначення функціонального стану рослин цієї породи за вмістом пластидних пігментів у листках у динаміці протягом вегетаційного періоду, ростовими процесами та площею асиміляційних органів, а також вивчення в порівняльному аспекті впливу на ці показники викидів автотранспорту та комплексного забруднення довкілля.

Проте за умов промислових міст Степу України біоекологічні особливості дуба звичайного є мало вивченими, хоча цей аспект проблеми зеленого будівництва є вельми актуальним. У роботах, присвячених озелененню індустріальних міст, адаптивні можливості цієї деревної породи практично не досліджені. Тому оцінити потенційні резерви цього виду в міських насадженнях за техногенного пресингу являє значний практичний інтерес.

Мета цієї роботи – дослідити фізіологічні особливості дуба звичайного в придорожніх зелених насадженнях промислового міста Дніпро.

Предмет дослідження – морфометричні показники пагонів і асиміляційних органів дуба звичайного та вміст у листках фотосинтетичних пігментів за різних рівнів техногенного забруднення.

Об'єкт дослідження – дерева дуба звичайного, що зростають у сфері викидів автотранспорту та промислових емісій м. Дніпро.

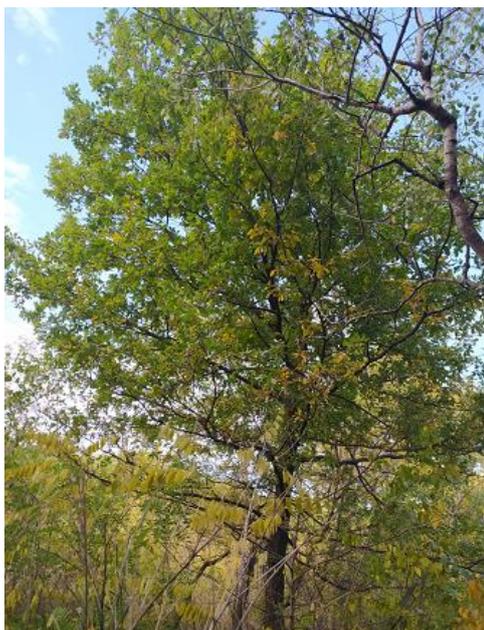
Новизна дослідження – вперше проаналізовані зміни біометричних параметрів вегетативних органів, сирої і сухої маси листків та вмісту в них зелених і жовтих пігментів протягом вегетаційного періоду в рослин дуба звичайного за урботехногенних умов степової зони України.

Об'єкти та методи дослідження

Для проведення досліджень обрали три ділянки, в насадженнях яких зростають дерева дуба звичайного (*Quercus robur* L.) однієї вікової категорії. Контрольна ділянка (1) розташована в умовно чистій зоні – в штучному деревному насадженні поблизу с. Орільське Дніпропетровської області. Зелені насадження ділянок 2 і 3 розташовані поруч із дорогами, що відрізняються інтенсивністю руху автотранспорту. Придорожнє насадження ділянки 2 зростає на вул. О. Гончара, ділянки 3 – на вул. 6-ї Стрілецької Дивізії у місці її розмежування з вул. Набережна Перемоги (рис. 1). Кількість автомобілів за добу в середньому за вегетаційний період на ділянці 2 становила 15 300 шт., на ділянці 3 – 21 000 шт.

На північному сході від ділянки 3 розташований індустріальний район із низкою великих промислових підприємств (ТОВ «Дніпрометиз ТАС», Нижньодніпровський трубопрокатний завод (ПАТ «Інтерпайп НТЗ»), АТ «Дніпровагонрембуд», ТОВ «Залізобетонні вироби Дніпро» та ін. Середня відстань до насаджень, що вивчаються, 4 км.

Вимірювали довжину однорічних пагонів і підраховували кількість листків на них. Площу листових пластинок визначали ваговим методом [2], їх сиру і суху масу зважували на електронних вагах ТВЕ-0.21-0.001 до висушування і після нього при температурі 105 °С до постійної маси. Товщину пагонів визначали електронним штангенциркулем Digital Caliper.



a



б



в

Рис. 1. Рослини дуба звичайного у штучному насадженні поблизу с. Орільське (контроль) (*a*), на вул. О. Гончара (*б*) та на вул. 6-ї Стрілецької Дивізії (*в*)

Вимірювання пагонів і відбір проб листків здійснювали з південно-східного боку крон дерев на висоті 2 м від поверхні ґрунту. Для аналізів використовували 2-й і 3-й листки від основи однорічного пагона у період закінчення вегетації.

Пластидні пігменти з тканин листків екстрагували 100 %-вим ацетоном. Їх визначення здійснювали на фотометрі КФК-3-01 «ЗОМЗ» при довжині хвилі 662, 644 та 440,5 нм. Розрахунки вмісту хлорофілів у витяжці здійснювали за формулами Ветштейна [2]:

$$Ca \left(\frac{мг}{л} \right) = 9,784 D_{662} - 0,990 D_{644};$$

$$Cb \left(\frac{мг}{л} \right) = 21,426 D_{644} - 4,650 D_{662};$$

$$Ca+b \left(\frac{мг}{л} \right) = 5,134 D_{665} + 20,436 D_{644}.$$

$$Скар \left(\frac{мг}{л} \right) = 4,695 D_{440,5} - 0,268 (C_{a+b} \text{ мг/л})$$

Ураховуючи масу наважки рослинного матеріалу та ступінь розведення, за концентрацією пігментів у ацетоновій витяжці обчислювали їх вміст:

$$A = \frac{C \cdot V}{P \cdot 1000},$$

де А – кількість пігменту, що визначають, у рослинному матеріалі, мг/г сиріої маси; С – концентрація пігментів у ацетоновій витяжці, мг/л; Р – наважка рослинного матеріалу, г; V – об'єм ацетонової витяжки пігментів, мл.

Одержані дані опрацьовані методами математичної статистики [15].

Результати та їх обговорення

Установлено, що як на контрольній, так і на дослідних ділянках із різним рівнем забруднення довкілля крони дерев *Q. robur* нормально сформовані; великі сухі гілки відсутні, а маленькі – є одиничними. Життєвий стан дерев добрий. Незначні ушкодження листків рослин на дослідних ділянках з'явилися тільки наприкінці вегетації. Дерев зберігають високу декоративність.

Забруднення довкілля викидами автотранспорту на ділянці 2 і комплексне забруднення на ділянці 3 викликає гальмування приросту однорічних пагонів дерев *Q. robur* (табл. 1). Воно доволі невелике у придорожному насадженні, де як негативний чинник діють вихлопи автотранспорту (ділянка 2), але збільшується за комплексного забруднення (ділянка 3). Зменшення довжини пагонів здійснюється внаслідок скорочення довжини міжвузлів у дерев на ділянці 2 на 16,1 %, а на ділянці 3 – на 25,0 %. Їх кількість у рослин придорожніх насаджень обох дослідних ділянок порівняно з контролем не змінюється. Отже, забруднення довкілля не впливало на закладання метамерів пагонів *Q. robur*.

Таблиця 1

Дія забруднення довкілля на показники однорічних пагонів *Q. robur*

Варіант	Довжина пагона, см	% до контролю	Довжина міжвузлів, см	% до контролю	Товщина пагонів, мм	% до контролю
Контроль	16,75 ± 0,43	–	2,36 ± 0,10	–	49,50 ± 1,11	–
Ділянка 2	14,20 ± 0,31	84,8	1,98 ± 0,07	83,9	42,21 ± 1,22	85,3
Ділянка 3	11,51 ± 0,80	68,7	1,77 ± 0,12	75,0	34,21 ± 2,17	69,1

Низкою авторів визначена видова специфіка у змінах росту пагонів деревних рослин за дії забруднення довкілля. Згідно з даними В. М. Гришко [9],

зменшення довжини однорічних пагонів відносно контролю за умов техногенного навантаження у *Betula pendula* є наслідком скорочення кількості міжвузлів на пагоні, а у *Aesculus hippocastanum* – стає меншою їх довжина. У деяких видів деревних рослин (*Populus italica*, *Ulmus pinnato-ramosa*, *Robinia pseudoacacia*) простежується тенденція до збільшення довжини однорічних пагонів внаслідок як зростання кількості міжвузлів, так і їх довжини. В. П. Бессонова, А. С. Чонгова [5] встановили, що з 22 досліджуваних видів дерев за умов дії комплексного забруднення у 4 із них пригнічення росту однорічних пагонів не відбувалося. Стимуляцію росту пагонів автори не спостерігали.

Товщина однорічних пагонів у дерев вуличних насаджень є меншою, ніж у контрольних, особливо за умов дії більшого рівня забруднення (ділянка 3), – на 14,7 і 30,9 %, відповідно.

Площа, маса і кількість листкових пластинок відображають процеси росту і ступінь впливу на них чинників довкілля. Установлено, що контамінація повітря вихлопами автотранспорту та комплексне забруднення несприятливо впливають на ріст листків *Q. robur*. Їх середні розміри на момент закінчення росту є меншими, ніж у контролі: у рослин на ділянці 2 – на 17,6 %, на ділянці 3 – на 28,4 % (табл. 2). Різниця у площі листків всіх варіантів досліду є статистично достовірною. На ділянці 3, де рослини зростають за умов більшого забруднення, негативна дія фітотоксикантів проявляється суттєвіше.

Урбогенні умови зростання не впливають на закладання листків *Q. robur* у період внутрішньобрунькового формування пагонів. Їх кількість на однорічних пагонах рослин у відносно чистій зоні і в придорожніх насадженнях обох ділянок є фактично однаковою (табл. 2).

Таблиця 2

Дія забруднення довкілля на показники органів асиміляції *Q. robur*

Варіант	Середня площа листків, см ²	% до контролю	Кількість листків на пагоні, шт.	% до контролю	Площа асиміляційної поверхні пагона, см	% до контролю
Контроль	56,10 ± 0,42	–	7,15 ± 0,01	–	401,11 ± 3,17	–
Ділянка 2	46,21 ± 0,64	82,4	7,10 ± 0,01	99,3	328,09 ± 2,89	81,8
Ділянка 3	40,19 ± 0,90	71,6	6,84 ± 0,10	95,7	274,42 ± 2,32	68,4

Сумарна площа листків на однорічному пагоні *Q. robur* у вуличних насадженнях також є меншою на ділянці 2 на 18,2 %, на ділянці 3 – на 31,6 % порівняно з контрольними величинами.

Рослини, що зазнають хронічної дії забруднювачів довкілля, мають меншу сиру й суху масу листків (рис. 1).

У дерев *Q. robur* вуличних насаджень змінюється питома поверхнева щільність листкових пластинок. У рослин, що зазнають дії забруднення, цей показник більший, ніж в умовно чистій зоні. У контролі його величина

становить $70,07 \pm 1,20$, на ділянці 2 – $80,50 \pm 2,12$, на ділянці 3 – $79,51 \pm 2,24$. Отже, величина питомої поверхневої щільності листків дерев *Q. robur*, які зростають за умов дії на них забруднювачів, збільшується. Можливо, це пов'язано з ксероморфізацією анатомічної будови листків. Відомо, що за умов забруднення довкілля листки рослин набувають ознак ксероморфної структури [8, 11, 14, 16].

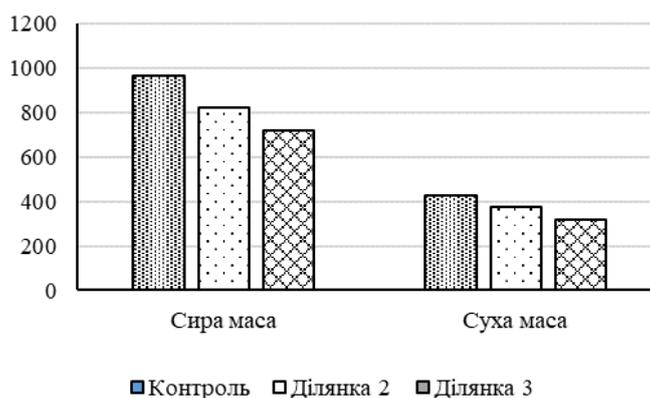


Рис. 1. Сира й суха маса листків *Q. robur*, мг

Встановлено, що середня довжина листків *Q. robur* зменшується за полікомпонентного забруднення. У придорожніх насадженнях максимальна ширина по лопатях є меншою, ніж у рослин відносно чистої зони. Ступінь змін цього показника у варіантах із різним рівнем забруднення довкілля майже однаковий (табл. 3). Черешок листків рослин придорожніх насаджень (ділянки 2 і 3) коротший порівняно з контрольним варіантом. Проте закономірна зміна цього показника залежно від рівня забруднення відсутня.

Толерантність або чутливість видів дерев чи їх екотипів до хронічного забруднення SO_2 , важкими металами тощо може бути встановлена біохімічним шляхом за зниженням вмісту хлорофілу в листках [22, 31]. Виходячи з цього, нами проаналізовано вплив вихлопів автотранспорту та комплексного забруднення не тільки на морфометричні показники пагонів і листків *Q. robur*, але й на вміст в останніх пластидних пігментів.

Таблиця 3

Вплив забруднення довкілля на біометричні параметри листків *Q. robur*

Варіант	Довжина листкової пластинки, см	Довжина черешка, см	Максимальна ширина по лопатях, см	Максимальна ширина по бухтах, см
Контроль	$12,17 \pm 0,53$	$0,71 \pm 0,03$	$8,88 \pm 0,28$	$3,92 \pm 0,30$
Ділянка 2	$10,80 \pm 0,62$	$0,32 \pm 0,04$	$6,62 \pm 0,34$	$4,00 \pm 0,27$
Ділянка 3	$9,27 \pm 0,70$	$0,48 \pm 0,03$	$6,78 \pm 0,39$	$4,62 \pm 0,48$

Динаміка змін вмісту хлорофілу *a* в листках *Q. robur* у процесі вегетації є подібною в контрольному і дослідних варіантах, хоча кількісні значення різні. Максимальні концентрації пігменту визначені в червні (табл. 4). Як видно з

табл. 4, вже в травні (початок вегетації) у листових пластинках дерев *Q. robur* вуличних насаджень дослідних ділянок концентрація цієї форми хлорофілу є меншою, ніж у контрольних рослин.

У подальшому в літні місяці відбувається наростання різниці у кількості хлорофілу *a* між дослідними і контрольним варіантами. Слід указати, що у травні і червні вміст цієї форми зелених пігментів у листках дерев, що зростають на ділянках із різним рівнем забруднення (2 і 3), не відрізняється. У липні і серпні нижчий вміст хлорофілу *a* відносно контрольних значень притаманний листовим пластинкам дерев, які зростають на дослідній ділянці з більшим рівнем забруднення довкілля (ділянка 3).

Таблиця 4

**Кількісні зміни хлорофілів (*a* і *b*) у листових пластинках *Q. robur*
за дії забруднення довкілля**

Варіант	17 травня	% до конт- ролю	20 червня	% до конт- ролю	17 липня	% до конт- ролю	15 серпня	% до конт- ролю
Вміст хлорофілу <i>a</i>								
Контроль	1,55±0,04	–	2,20±0,06	–	1,96±0,04	–	1,87±0,07	–
Ділянка 1	1,38±0,03	89,03	1,74±0,04	79,09	1,36±0,04	69,38	1,41±0,02	75,40
Ділянка 2	1,28±0,07	82,58	1,60±0,03	72,73	1,14±0,03	58,16	1,23±0,05	65,77
Вміст хлорофілу <i>b</i>								
Контроль	0,58±0,03	–	0,92±0,02	–	0,82±0,03	–	0,71±0,06	–
Ділянка 1	0,52±0,02	89,65	0,83±0,03	90,21	0,65±0,02	79,26	0,64±0,04	90,14
Ділянка 2	0,50±0,02	86,20	0,77±0,02	83,69	0,61±0,02	74,39	0,60±0,05	84,51
Відношення <i>a/b</i>								
Контроль	2,67	–	2,39	–	2,39	–	2,63	–
Ділянка 1	2,65	99,25	2,09	87,44	2,09	87,44	2,20	83,65
Ділянка 2	2,56	95,88	2,07	86,61	1,86	77,82	2,05	77,94
Вміст хлорофілів <i>a+b</i>								
Контроль	2,13±0,04	–	3,12±0,04	–	2,78±0,05	–	2,58±0,03	–
Ділянка 1	1,90±0,03	89,20	2,57±0,02	82,37	2,11±0,03	75,89	2,05±0,02	79,45
Ділянка 2	1,78±0,02	83,56	2,37±0,05	75,96	1,75±0,03	62,94	1,83±0,02	70,93

Характер кількісних змін хлорофілу *b* у листках *Q. robur* протягом вегетації у всіх варіантах однаковий. Проте негативний вплив урбогенних умов зростання на вміст цієї форми хлорофілу менший порівняно з хлорофілом *a*. Так, на початку вегетації рівень хлорофілу *b* у варіантах досліді є практично однаковим. У червні його концентрація нижча відносно контрольних величин тільки в листках рослин на ділянці 3. У наступному місяці кількість хлорофілу *b* у листових пластинках дерев *Q. robur* обох дослідних ділянок є меншою, ніж у контролі, на 20,7 і 25,6 %, відповідно. У той самий час відміни в концентрації хлорофілу *a* від показників у рослин замиського насадження у цей період становили 30,6 і 41,8 %, відповідно. Така сама закономірність простежується у серпні. V. P. Bessonova et al. [22] встановили, що у більшості досліджуваних видів деревних рослин за умов дії на них більш високих концентрацій поллютантів спостерігається істотніше падіння вмісту хлорофілу *a*, ніж хлорофілу *b*. Аналогічні зміни форм хлорофілу встановлені і в листках *Catalpa bignonioides* за дії на рослини вихлопів автотранспорту та комплексного забруднення [3]. Проте П. С. Гнатів [8] вказує на більш стрімке падіння вмісту

хлорофілу *b* в листках *Acer platanoides* у вуличних насадженнях, ніж хлорофілу *a*. Н. В. Капелюш [10] також спостерігала суттєвіше падіння хлорофілу *b* порівняно з хлорофілом *a* в листках *Platanus orientalis* і *P. × acerifolia*. Така неоднозначна реакція рослин, можливо, визначається не тільки видовою специфікою, але й характером і співвідношенням аерогенних політантів. М. Striban et al. [31] підкреслюють, що чутливість до забруднення може бути обумовлена індивідуальними метаболічними особливостями порід. Чим інтенсивніше відбувається процес детоксикації, тим на більш високому рівні підтримується біосинтез і накопичення зелених пігментів.

Більш значні кількісні зміни хлорофілу *a* за техногенних умов зростання, ніж хлорофілу *b*, призводять до зменшення співвідношення цих форм пігментів (*a/b*). Отже, нерівноцінні зміни вмісту хлорофілів *a* і *b* викликають зрушення відношення цих двох форм зелених пігментів. Це вказує на недодержання стехіометричного відношення між комплексами реакційних центрів фотосистем і світлозбиральним комплексом II (СЗК II) [28], що негативно відбивається на перебігу фотосинтетичних процесів.

Найвища концентрація суми зелених пігментів (*a+b*) у всіх варіантах виявлена у червні (табл. 4), що зумовлено максимальним вмістом у листках у цей строк аналізу як хлорофілу *a*, так і *b*. У дерев придорожніх насаджень уміст суми зелених пігментів нижчий, ніж у контрольних рослин. Слід відзначити, що різниця в їх кількості між варіантами є невеликою, а в травні майже відсутня.

Отже, аналіз отриманих даних і порівняння ступеня зниження вмісту хлорофілу в листках *Q. robur* у придорожніх насадженнях вказує на достатній рівень стійкості цього виду до урботехногенного забруднення.

Дані досліджень із впливу урбогенних умов зростання на вміст каротиноїдів у листових пластинках *Q. robur* наведені в табл. 5. Забруднення довкілля викликає підвищення кількості жовтих пігментів у листках відносно контролю, у найбільшій мірі – у червні. У рослин, що зазнають дії більш значних концентрацій політантів, підвищення рівня цих пластидних пігментів є значнішим. При цьому перевищення значень контрольного варіанта становить 34,5–62,9 % залежно від дати відбору проб. За умов меншого забруднення довкілля кількість каротиноїдів у листках дерев, що зростають у вуличному насадженні ділянки 2, підвищується на 24,0–44,4 % у строки досліджень. Збільшення вмісту цих пластидних пігментів у листках за урботехногенних умов зростання має суттєве значення у пристосуванні рослин до несприятливих чинників.

Таблиця 5

**Вплив урботехногенних умов зростання на вміст каротиноїдів
у листових пластинках *Q. robur***

Варіант	Контроль	Ділянка 2	% до контролю	Ділянка 3	% до контролю
Місяць					
Травень	0,25 ± 0,003	0,31 ± 0,012	124,0	0,36 ± 0,007	144,0
Червень	0,27 ± 0,005	0,39 ± 0,005	144,4	0,44 ± 0,011	162,9
Липень	0,29 ± 0,007	0,40 ± 0,011	137,9	0,39 ± 0,010	134,5
Серпень	0,21 ± 0,004	0,28 ± 0,007	133,3	0,32 ± 0,008	152,4

Підвищення вмісту каротиноїдів у листках *Q. robur* можна розглядати як адаптивний механізм до впливу несприятливого чинника довкілля – забруднення атмосфери. Роль каротиноїдів у рослинному організмі є багатогранною. Насамперед ці сполуки відіграють роль світлозбиральної антени, а також захищають хлорофіл від надлишку світла. Каротиноїди виконують роль фотопротекторів фотосинтетичного апарату рослин [25]. Ці пігменти діють на фізичні властивості природних мембран [32]. Встановлено, що забруднювачі довкілля викликають активацію в клітинах рослин вільнорадикальних процесів [1, 21], які призводять до ушкодження клітинних мембран. Каротиноїдам притаманна антиоксидантна функція, оскільки вони запобігають ушкодженням, переводячи триплетний хлорофіл і синглетний кисень в основний стан. При цьому самі вони переходять у триплетний стан із подальшим розсіюванням енергії у вигляді тепла [24]. Каротиноїди захищають ненасичені жирні кислоти ліпідів, пігменти [33], мембрани хлоропластів [26] від дії вільних радикалів.

Слід зазначити, що підвищення вмісту каротиноїдів у листках рослин за дії аерогенних забруднювачів довкілля відзначається й в інших дослідженнях. Зростання їх кількості в листках стійких видів деревних рослин установили V. P. Bessonova et al. [22] за умов полікомпонентного забруднення атмосферного повітря. Аналогічні результати отримано для хвої *Picea pungens* за дії викидів автотранспорту [4]. Але в листках *Catalpa bignonioides*, що зростала у придорожніх насадженнях, уміст каротиноїдів знижується відносно контрольних значень [3]. Можливо, така протилежна реакція обумовлена різним рівнем стійкості рослин.

Висновки

1. У досліджених придорожніх насадженнях дерева *Quercus robur* характеризуються добрим життєвим станом і високою декоративністю.

2. За умов забруднення довкілля відзначається зменшення довжини річного пагона порівняно з контролем, що відбувається за рахунок скорочення протяжності метамерів. При цьому їх кількість залишається практично такою, як і у рослин контролю. Суттєво зменшується товщина пагонів, особливо у насадженні, що зазнає комплексного забруднення.

3. Установлено скорочення сумарної асиміляційної поверхні пагона у зв'язку зі зниженням середньої площі листків, але не їх кількості на пагоні. Ці зміни в більшій мірі виражені у рослин ділянки 3, де рівень забруднення вищий.

4. Відбувається зниження сирої і сухої маси листків рослин придорожніх насаджень порівняно з контрольними значеннями. Навпаки, питома поверхнева щільність листків була більшою в особин *Quercus robur* із забруднених зон, що, можливо, можна пов'язати із ксероморфізацією анатомічної будови листків рослин цих варіантів.

5. Аналіз біометричних параметрів асиміляційних органів *Quercus robur* продемонстрував вплив полікомпонентного забруднення на довжину листкової пластинки. На обох дослідних ділянках зменшується довжина черешка і максимальна ширина листка по лопатях. Але закономірної зміни цих показників за градієнтом забруднення не виявлено. Максимальна ширина листових пластинок по бухтах у дерев дослідних варіантів не зазнає змін порівняно з контрольними екземплярами.

6. Виявлено, що направленість змін вмісту хлорофілу *a* протягом вегетації є подібною у всіх варіантах, відрізняючись кількісно. Максимальний його рівень визначається у червні; у липні і серпні наростає відмінність між дослідними і контрольним варіантом, особливо – на ділянці 3. Подібна закономірність спостерігається і щодо вмісту хлорофілу *b*. Проте негативний вплив забруднення довкілля на рівень хлорофілу *b* виявляється меншим порівняно з хлорофілом *a*.

7. Забруднення атмосферного повітря викликає збільшення концентрації каротиноїдів у листках *Quercus robur* відносно контролю, у найбільшій мірі – у червні. У рослин, що зазнають комплексної дії поллютантів (ділянка 3), спостерігається істотніше підвищення рівня цих пластидних пігментів, що має адаптаційне значення при зростанні за урбогенних умов. У цілому динаміка вмісту зелених і жовтих пігментів указує на достатній рівень стійкості *Quercus robur* до техногенного забруднення.

Бібліографічні посилання

1. **Бессонова В. П.** Вплив важких металів на фотосинтез рослин: монографія. Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2006а. 208 с.
2. **Бессонова В. П.** Практикум з фізіології рослин. Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2006б. 316 с.
3. **Бессонова В. П., Гунько С. О.** [Вплив урбогенних умов зростання *Catalpa bignonioides* на морфометричні показники листків і вміст у них пластидних пігментів. Екологічні науки. 2020. № 3 \(54\). С. 150–161.](#)
4. **Бессонова В. П., Пономарьова О. А.** [Морфометричні показники та вміст пластидних пігментів хвої *Picea pungens* залежно від відстані до автошляху. Biosystems Diversity. 2017. т. 25, № 2. С. 96–101.](#)
5. **Бессонова В. П., Чонгова А. С.** [Морфометричні показники деревних рослин в індикації забруднення довкілля. Екологічні науки. 2023. №1 \(46\). С. 102–108.](#)
6. **Більчук В. С., Хмельникова Л. І., Лившин В. В.** Реакція фотосинтетичного апарату деревних рослин дубу на аеротехногенне забруднення. Молодь: наука та інновації. Матеріали VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених. Дніпро, 27 листопада 2020 р. С. 94–96.
7. **Більчук В., Хмельникова Л., Слесарчук В.** Вплив техногенного забруднення на вміст фотосинтезуючих пігментів в листках деревних рослин. Traditional medicine and pharmacology. Achievements, innovations, and alternatives: collective monograph. International Science Group, Boston: Primedia eLaunch. 2021. Р. 43–49.
8. **Гнатів П. С.** Гіркокаштан звичайний у Львові й питання його екологічної стійкості в міських насадженнях. Наукові записки Державного природознавчого музею. 2007. Вип. 23. С. 75–84.
9. **Гришко В. М.** Ріст деревних рослин в умовах техногенного озеленення. Український ботанічний журнал. 2002. Т. 59, № 1. С. 79–88.
10. **Капелюш Н. В.** [Динаміка хлорофілу у листках *Platanus orientalis* та *P. acerifolia* за умов забруднення середовища. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія. 2006. Т. 14, № 1. С. 76–80.](#)

11. **Ленник М. В.** Вплив забруднення навколишнього середовища автотранспортними викидами на анатомічну будову листків *Catalpa bignonioides* Walt. Питання біоіндикації та екології. Запоріжжя: ЗНУ, 2008. Вип. 13, № 1. С. 23–32.
12. **Мазена В. Г., Новак А. А., Сопушинський І. М.** Особливості радіального приросту дубових деревостанів зеленої зони Львова. Науковий вісник НЛТУ України. 2010. Вип. 20.4. С. 36–42.
13. **Музика Г. І., Балабак А. В., Василенко О. В., Балабак О. А., Гончар Н. О., Шевченко Н. О.** [Стійкість зелених насаджень антропогенних ландшафтів до атмосферних забруднень та вплив їх розташування на мікроклімат. Таврійський науковий вісник. 2024. Вип. 135, ч. 2. С. 222–228.](#)
14. **Овруцька І. І.** Анатомо-морфологічні ознаки листків *Sium latifolium* L. у різних умовах зростання. Український ботанічний журнал. 2012. Т. 69, № 1. С. 125–133.
15. **Петровська І. Р., Салига Ю. Т., Вудмаска І. В.** Статистичні методи в біологічних дослідженнях: навчально-методичний посібник. Київ: Аграрна наука, 2022. 172 с.
16. **Пономарьова О. А.** Зміни анатомічної будови листків дерев роду *Tilia* L., як показник адаптації до різних умов зростання. Питання біоіндикації та екології. 2013. Вип. 18, № 2. С. 108–120.
17. **Сердюк С. М.** [Актуальні проблеми екологічної трансформації міського середовища в умовах високого автотранспортного навантаження \(на прикладі м. Дніпропетровськ\). Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. 2016. № 11. С. 101–108.](#)
18. **Ткачук О. П., Панкова С. О.** [Екологічна стійкість дерев полезахисних лісосмуг до атмосферних забруднень. Збалансоване природокористування. 2021. № 1. С. 82–91.](#)
19. **Трошин М. Ю., Кістол А. Д., Баранник В. В.** [Вплив автомобільного транспорту на довкілля. Grafil of Science. 2023. № 26. С. 261–264.](#)
20. **Шупранова Л. В., Лихолат Ю. В., Хромих Н. О., Грицай З. В., Алексеева А. А., Більчук В. С.** [Реакція фотосинтетичного апарату представника екстразональної рослинності степу *Quercus robur* на забруднення атмосфери транспортними емісіями. Biosystems Diversity. 2017. т. 25, № 4. С. 268–273.](#)
21. **Asada K.** Formation and scavenging of superoxide in chloroplasts, with relation to injury by sulfur dioxide. Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud. Jpn. 1980. № 11. P. 165–169.
22. **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 plante for greening of cities. Biosystems Diversity. 2020. Vol. 28, № 2. P. 203–208.](#)
23. **Dominguez-Delmas M.** [Seeing the forest for the trees: New approaches and challenges for dendroarchaeology in the 21st century. Dendrochronology. 2020. Vol. 62. P. 1–15.](#)
24. **Edge R., Truscott G.** [Properties of carotenoid radicals excited states and their potential role in biological systems. Carotenoids: physical, chemical and biological functions and properties / Ed. J. T. Landrum. Dordresht: KhmerAcaaf Published, 2010. P. 283–307.](#)

25. [Frank H. A. Incorporation of carotenoids into the reaction center and light-harvesting pigment-protein complexes. The Photochemistry of Carotenoids. Advances in Photosynthesis and Respiration. 1999. Vol 8. Springer, Dordrecht.](#)
26. [Havaux M. Carotenoids as membrane stabilizers in chloroplasts. Trends in Plant Science. 1988. Vol. 3, Iss. 4. P. 147–151.](#)
27. *Kharchenko N. N., Kalaev V. N., Kornienko V. D.* Mechanical stability of pedunculate oak at the ecological boundary of the species distribution in the steppe. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Int. Sci-Pract. Conf. «Forest ecosystems as global resource of the biosphere: calls, threats solutions». 2021. Vol. 875. Article 012049.
28. [Lindahl M., Yang D.-H., Andersson B. Regulatory proteolysis of the major light-harvesting chlorophyll a/b protein of photosystem II by a light-induced membrane-associated enzymic system. European Journal of Biochemistry. 1995. Vol. 231, Iss. 2. P. 503–509.](#)
29. [Nesterov M., Prokopuk Ju., Ivanko I., Kotovych O., Romenskyy M. Quercus robur survival at the rear edge in steppe: Dendrochronological evidence. Dendrochronologia. 2021. Vol. 67, Iss. 6.](#)
30. [Sabouri S., Javadi Sh. Oak; A Heritage, a Culture. Jaco quarterly. 2022. № 36. P. 27–38.](#)
31. *Striban M., Bathory D., Fabian A., Sparchez C.* Adaptation significance of the contents in photoassimilatory pigments and SH-groups of tree leaves from ecosystems polluted with SO₂ and heavy metals. Ecology and Adaptation. 1988. Vol. 3. P. 195–200.
32. *Strzałka K., Gruszecki W.* Modulation of thylakoid membrane fluidity by exogenously added carotenoids. Journal of Biochemistry, Molecular Biology and Biophysics. 1997. Vol. 1. P. 103–108.
33. *Strzałka K., Kostecka-Gugala A., Latowski D.* Carotenoids and Environmental Stress in Plants: Significance of Carotenoid-Mediated Modulation of Membrane Physical Properties. Journal of Plant Physiology. 2003. Vol. 50, No. 2. P. 168–172.

Надійшла до редколегії 20.10.2025 р.