

САДОВО-ПАРКОВЕ ГОСПОДАРСТВО

УДК 630*26:582:736.3:581.522.4

Морфометричні особливості підросту софори японської в умовах промислового забруднення (*Sophora japonica* L.)**Курка С.С.¹ , Іщук Г.П.¹ , Іщук Л.П.² ,
Коваль С.А.¹ , Вітенко В.А.¹ **¹ Уманський національний університет² Національний дендропарк «Софіївка» НАН України svetlana9075@ukr.net

Курка С.С., Іщук Г.П., Іщук Л.П., Коваль С.А., Вітенко В.А. Морфометричні особливості підросту софори японської в умовах промислового забруднення (*Sophora japonica* L.). «Агробіологія», 2026. № 1. С. 237–249.

Kurka S., Ischuk H., Ischuk L., Koval S., Vitenko V. Morphometric features of *Sophora japonica* L. growth under industrial pollution conditions. «Agrobiologiya», 2026. no. 1, pp. 237–249.

Рукопис отримано: 09.03.2026 р.

Прийнято: 24.03.2026 р.

Затверджено до друку: 19.05.2026 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2026-203-1-237-249

ISSN 2310-9270

У сучасних умовах інтенсивної урбанізації, стрімкого розвитку транспорту та промисловості спостерігається постійне зростання рівня забруднення навколишнього середовища, що створює несприятливі умови для життєдіяльності людини. У зв'язку з цим особливою актуальності набуває проблема збереження природних та штучних біоценозів, оскільки збільшення обсягів промислових і транспортних викидів токсичних речовин в атмосферу призводить до деградації екосистем [1, 2].

Дослідження впливу промислових викидів на морфометричні показники підросту софори японської (*Sophora japonica* L.) має важливе значення для сучасної екологічної науки, адже промислове забруднення, особливо у міських та промислових зонах, негативно позначається на стані рослинного покриву. Софора японська – поширена декоративна порода, широко використовується для озеленення міських територій завдяки високій стійкості до несприятливих умов середовища. Проте в умовах забруднення повітря, води та ґрунтів промисловими емісіями її розвиток може істотно змінюватися [3, 4].

Викиди промислових підприємств, зокрема сполуки важких металів, оксиди азоту та сірки, спричиняють токсичний вплив на рослини, що проявляється у пригніченні ростових процесів, зниженні інтенсивності фотосинтезу та ослабленні загальної життєздатності. Під час дослідження здійснено порівняльний аналіз морфометричних показників підросту софори японської, який зростає в умовах різного рівня забруднення, з метою встановлення основних тенденцій впливу промислових чинників [5–7].

Вивчено дію промислових емісій діоксиду сірки (SO₂) та діоксиду азоту (NO₂) на біометричні параметри однорічних пагонів софори японської в умовах Одеської області. Встановлено, що під дією токсичних газів відбуваються помітні зміни в інтенсивності росту осьових органів і розвитку асиміляційного апарату.

Аналіз отриманих результатів дозволяє з'ясувати особливості впливу промислових забруднювачів на ріст, розвиток і адаптаційні можливості софори японської. Проведене дослідження має практичне значення для оцінки екологічного стану міських територій і формування заходів зі збереження зелених насаджень у зонах техногенного навантаження. Крім того, виявлені морфометричні зміни у софори можуть бути використані як індикаторні показники рівня забруднення довкілля та сприяти вдосконаленню екологічних стандартів для промислових регіонів.

Ключові слова: підріст, біометричні показники, промислові викиди, токсичні гази SO₂ та NO₂, площа листової поверхні.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Вплив промислових викидів на довкілля залишається однією з найгостріших екологічних проблем сучасності. Як зазначають В.П. Бессонова та О.Є. Іванченко [8], а також О.Г. Луцишин та ін. [9], одним із ключових проявів техногенного навантаження є зміна морфологічних характеристик рослин, особливо на ранніх етапах їх розвитку. Молоді рослини, зокрема самосів і підріст, є найбільш чутливими до змін середовища та можуть слугувати надійними індикаторами його стану.

Згідно з дослідженнями А. Stratu, N. Costica та М. Costica [2], навіть у міських екосистемах із помірним рівнем забруднення відбуваються суттєві зміни у функціонуванні рослинних угруповань, що проявляється у прискоренні онтогенезу, скороченні тривалості життєвого циклу та зниженні біорізноманіття.

Формування урбанізованого середовища супроводжується комплексною дією стресових чинників. За даними R. Popok та ін. [10], накопичення твердих часток у листках призводить до порушення роботи фотосинтетичного апарату. Аналогічно, В.П. Бессонова, А.С. Чонгова та А.В. Скляренко [11] встановили зниження вмісту фотосинтетичних пігментів у листках деревних рослин під впливом багатокомпонентного забруднення. Крім того, О.Є. Іванченко та В.П. Бессонова [12] показали, що в умовах урбанізованого середовища відбувається погіршення морфологічного стану деревних рослин.

У цьому контексті важливим є дослідження впливу техногенного навантаження на процеси природного відновлення деревних рослин. Як зазначає В.М. Гришко [14], промислові поллютанти не лише пригнічують ріст і розвиток рослин, а також порушують процеси самовідновлення фітоценозів, знижуючи кількість і якість самосіву та підросту.

Аналіз морфометричних показників є ефективним інструментом оцінки адаптаційних реакцій рослин. За даними О.Г. Луцишина та ін. [13], зміни біометричних параметрів дозволяють виявити ступінь пристосування рослин до умов техногенного середовища. Водночас більшість досліджень присвячена генеративним особинам деревних рослин. Зокрема, роботи Н.І. Глібовицької [15], А.В. Скляренка [16] та В.П. Бессонової і А.С. Чонгової [17] зосереджені переважно на аналізі стану листового апарату дорослих рослин.

Водночас, дослідження реакції самосіву та підросту на дію промислових полютантів залишаються обмеженими. Як показано

у роботах Ю.М. Петрушкевич [18] та Т. Usipiva [21], морфометричні показники молодих рослин істотно змінюються під впливом промислового забруднення, однак такі дослідження мають фрагментарне висвітлення і потребують подальшого розвитку.

Окрему увагу слід приділити виду *Sophora japonica* L., який широко використовують в озелененні міст. За даними С.С. Курки [3], С.С. Курки та ін. [4], цей вид характеризується високою адаптивністю до умов міського середовища. Водночас, як показали дослідження І. Gostin [6] та А. Sen et al. [7], навіть стійкі деревні види зазнають морфологічних змін під впливом атмосферного забруднення.

Незважаючи на значну кількість наукових праць, питання впливу забруднення, зокрема діоксиду сірки (SO₂) та діоксиду азоту (NO₂), на морфометричні показники самосіву та підросту *Sophora japonica* L. у природних умовах залишається недостатньо вивченим.

Отже, актуальність цього дослідження обумовлена необхідністю комплексного аналізу морфометричних особливостей самосіву та підросту *Sophora japonica* L. в умовах впливу промислових викидів, що дозволить оцінити адаптаційні можливості виду та використовувати отримані результати для екологічного моніторингу урбанізованих територій.

Метою дослідження є встановлення закономірностей впливу промислових викидів, зокрема діоксиду сірки (SO₂) та діоксиду азоту (NO₂), на морфометричні показники самосіву та підросту *Sophora japonica* L. в умовах урбанізованого середовища, а також оцінка адаптаційних реакцій виду до хронічного техногенного навантаження.

Матеріал та методи досліджень. Об'єктом дослідження є інтродукований вид – софора японська (*Sophora japonica* L., родина *Fabaceae* Lindl.). Цей вид належить до важливих деревних порід, що широко використовують в озелененні міських територій та виконує роль едифікатора штучних деревних фітоценозів у південному регіоні України, зокрема в Одеській області.

Для дослідження було обрано дві категорії молодих рослин: самосів (рослини віком до одного року) та підріст – молоде покоління деревних рослин, яке формується в природних умовах під пологом насаджень або на відкритих ділянках, походить із насіння або вегетативним способом і згодом здатне формувати деревостан, замінюючи материнські особини.

Польові дослідження проводили у липні 2023 р. на ділянках із різним рівнем аерогеного забруднення. Було закладено три моніторингові точки:

моніторингова точка I (зона сильного забруднення) – розташована на відстані 2 км від Одеського нафтопереробного заводу;

моніторингова точка II (зона середнього забруднення) – на відстані 3 км від підприємства;

контрольна ділянка (умовно чиста зона) – розташована в Олександрівському парку, де рівень забруднення не перевищував нормативних значень.

Концентрації газоподібних поллютантів (діоксиду сірки SO_2 та діоксиду азоту NO_2) визначали на основі даних регіонального моніторингу якості атмосферного повітря та узагальнених матеріалів екологічного контролю. Оцінку рівня забруднення здійснювали методом порівняння отриманих значень із гранично допустимими концентраціями (ГДК) для атмосферного повітря населених місць. Для SO_2 середньодобова ГДК становить $0,05 \text{ мг/м}^3$, разова – $0,5 \text{ мг/м}^3$; для NO_2 – $0,04$ та $0,2 \text{ мг/м}^3$ відповідно. Встановлено, що у моніторинговій точці I концентрації становили: SO_2 – $0,14 \text{ мг/м}^3$, NO_2 – $0,11 \text{ мг/м}^3$, тимчасом у точці II – SO_2 – $0,28 \text{ мг/м}^3$, NO_2 – $0,23 \text{ мг/м}^3$, що перевищує фонові значення та свідчить про підвищене техногенне навантаження.

На кожній дослідній ділянці відбирали від 30 до 50 особин самосіву та підросту. Для аналізу використовували однорічні пагони. Визначення морфометричних показників здійснювали за загальноприйнятими біометричними методиками (довжина пагонів, кількість листків, площа листової поверхні та ін.).

Визначення морфометричних показників самосіву та підросту *Sophora japonica* L. здійснювали за загальноприйнятими дендробіометричними методиками, викладеними у роботах І.О. Зайцевої та Л.Г. Долгової [19], Є.О. Казакова [20]. Вимірювання включали визначення довжини однорічних пагонів, кількості листків, а також розрахунок площі листової поверхні.

Статистичну обробку отриманих даних проводили з використанням програмного пакета STATGRAPHICS. Для оцінки достовірності різниць між вибірками застосовували t-критерій Ст'юдента. Результати вважали статистично достовірними за рівня значущості $p < 0,05$ [19, 20].

Проведені дослідження показали чітку залежність морфометричних показників самосіву та підросту *Sophora japonica* L. від

рівня аерогеного забруднення. Встановлено, що зі збільшенням концентрації газоподібних поллютантів (SO_2 та NO_2) спостерігається поступове пригнічення ростових процесів та зниження біометричних параметрів рослин.

У контрольній зоні (Олександрівський парк), де концентрації забруднювачів не перевищували гранично допустимих значень ($\text{SO}_2 \leq 0,05 \text{ мг/м}^3$; $\text{NO}_2 \leq 0,04 \text{ мг/м}^3$), рослини характеризувалися найвищими показниками росту. Самосів і підріст мали інтенсивний розвиток пагонів, добре сформовану листову поверхню та відносно стабільні морфометричні параметри, що свідчить про сприятливі умови середовища.

У зоні середнього забруднення (моніторингова точка II; SO_2 – $0,14 \text{ мг/м}^3$; NO_2 – $0,11 \text{ мг/м}^3$) спостерігалось статистично помітне зниження ростових показників. У порівнянні з контролем відмічали зменшення довжини однорічних пагонів, кількості листків та площі листової поверхні. Це свідчить про початкові прояви стресової реакції рослин на дію токсичних газів, зокрема оксидів сірки та азоту, які негативно впливають на фотосинтетичну активність і водний баланс.

У зоні сильного забруднення (моніторингова точка I; SO_2 – $0,28 \text{ мг/м}^3$; NO_2 – $0,23 \text{ мг/м}^3$) відмічено найбільш виражене пригнічення росту. Морфометричні показники самосіву та підросту знижувалися у порівнянні з контролем, що проявлялося у значному скороченні довжини пагонів, зменшенні кількості листків та істотному зниженні площі листової поверхні. Такі зміни свідчать про кумулятивний токсичний вплив забруднювачів, що призводить до порушення процесів росту та розвитку.

Отримані результати узгоджуються з даними Popok et al. [10], які встановили негативний вплив атмосферних часток і газоподібних поллютантів на фотосинтетичний апарат деревних рослин, а також з дослідженнями Bessonova et al. [11], де показано зниження вмісту фотосинтетичних пігментів під дією комплексного забруднення. Подібні закономірності відзначені і в роботах Гришка [14], який підкреслює пригнічення росту деревних рослин у техногенно навантажених умовах.

Важливо, що навіть відносно стійкий вид *Sophora japonica* L., який широко використовують в міському озелененні, демонструє чітку морфометричну реакцію на підвищення рівня забруднення. Це підтверджує його потенціал як індикаторного виду для оцінки стану урбоєкосистем. Аналогічні висновки щодо чутливості деревних рослин до SO_2 та NO_2 наведені у роботах Sen et al. [7],

де зазначено, що навіть толерантні види реагують зниженням ростових показників за умов хронічного забруднення.

Отже, встановлено чітку градієнтну залежність між рівнем аерогенного забруднення та морфометричними характеристиками *Sophora japonica* L.: зі збільшенням концентрацій SO_2 та NO_2 відбувається послідовне зниження ростових параметрів як самосіву, так і підросту. Це підтверджує доцільність використання цього виду як біоіндикатора стану міських екосистем в умовах техногенного навантаження.

Результати досліджень та їх обговорення. Промислові та транспортні емісії формують багатокомпонентне антропогенне навантаження на урбоєкосистеми, включаючи оксиди сірки (SO_2), азоту (NO_2), карбону (CO), тверді частинки (PM), важкі метали (Pb, Cd, Zn, Cu) та леткі органічні сполуки. Синергетична дія цих поллютантів зумовлює розвиток комплексного стресу у рослин, що проявляється на клітинному, тканинному та організмовому рівнях. За даними Т. Usiriva та L. Pelekhova [21, 22], ключовими об'єктами токсичного впливу є фотосинтетичний апарат, мембранні структури та ферментні системи, що зумовлює порушення метаболічної рівноваги й зниження адаптаційного потенціалу рослин.

На морфофункціональному рівні реакція деревних рослин на забруднення атмосфери характеризується вираженою редукцією ростових процесів та трансформацією асиміляційного апарату. Як показано у роботах R. Porek, I. Gostin та A. Sen [6, 7, 10], депонування твердих частинок на поверхні листків у поєднанні з газоподібними поллютантами спричиняє обструкцію продохів, порушення газообміну та інгібування фотосинтетичної активності. Внаслідок цього спостерігається зменшення площі листової пластинки, пригнічення росту пагонів, зниження біомаси та ефективності первинної продукції. Довготривалий вплив призводить до передчасного старіння асиміляційних органів і дестабілізації фітоценотичної структури насаджень.

Особливої уваги заслуговує онтогенетичний аспект чутливості рослин до техногенного забруднення. Згідно з результатами J.A. Salmond [5], ранні стадії розвитку (самосів, підріст) характеризуються підвищеною вразливістю через високу інтенсивність фізіолого-біохімічних процесів і недостатню сформованість систем антиоксидантного захисту. Це визначає їх високу індикативну цінність за оцінювання якості атмосферного повітря в урбанізованих екосистемах.

Серед інтродукованих деревних видів, що використовують в озелененні міст, *Sophora japonica* L. вирізняється значною екологічною пластичністю. За даними С.С. Курки, вид демонструє високу толерантність до посушливих умов, ущільнення ґрунту та підвищених температур, що обумовлює його широке застосування у промислово трансформованих ландшафтах. Водночас, навіть за наявності адаптивних механізмів, тривалий вплив поллютантів зумовлює латентні та явні порушення функціонального стану рослин.

Зокрема, у дослідженнях В.П. Бессонова, О.Є. Іванченко та О.Г. Луцишин [11–13] встановлено, що хронічне забруднення атмосфери супроводжується зниженням вмісту хлорофілів а і b, дисбалансом у пігментному комплексі та інгібуванням фотохімічних реакцій фотосинтезу. Паралельно відбувається порушення водного режиму, зумовлене змінами проникності клітинних мембран і регуляції транспірації, що призводить до зниження тургорного тиску та водоутримувальної здатності тканин. Морфологічними маркерами цих процесів є редукція листової поверхні, деформації листків, поява хлоротичних і некротичних уражень.

Акумуляційна здатність деревних рослин щодо важких металів розглядається як один із ключових механізмів адаптації до умов техногенного навантаження. Як зазначають В.П. Бессонова та А. Sen [7, 11], накопичення Pb, Zn, Cu, Cd у вегетативних органах є результатом як пасивного надходження, так і активних фізіолого-біохімічних процесів детоксикації. Це обумовлює можливість використання *Sophora japonica* L. як ефективного біоіндикатора та біомонітора стану атмосферного повітря.

Аналіз структури транспортних викидів свідчить про домінування оксидів карбону (до 72 %), істотну частку оксидів нітрогену (близько 12 %) та неметанових летких органічних сполук (10 %), а також наявність твердих частинок, оксидів сірки і сполук свинцю. За узагальненими даними J.A. Salmond та С.У. Jim [1, 5], саме комбінована дія цих компонентів визначає рівень токсичного навантаження на рослинний покрив міських територій і формує специфічні адаптаційні відповіді рослин.

Серед токсичних компонентів, які викидає автотранспорт, 72 % становлять оксиди карбону, 10 % – неметанові леткі органічні сполуки, 12 % – оксиди нітрогену, 1,5 % – сажа, 1,3 % – оксид сульфору, сполуки свинцю (табл. 1).

Таблиця 1 – Склад вихлопних газів бензинових і дизельних двигунів внутрішнього згоряння

Назва речовини	Вид двигуна	
	бензинові	дизельні
Азот N ₂ , об.%	74–77	76–78
Кисень O ₂ , об.%	0,3–8,0	2,0–18,0
Вода H ₂ O (пара), об.%	3,0–5,5	0,5–4,0
Вуглекислий газ CO ₂ , об.%	0,0–16,0	1,0–10,0
Чадний газ CO, об.%	0,1–5,0	0,01–0,5
Оксиди нітрогену NO _x , об.%	0,0–0,8	0,0002–0,5
Вуглеводні C _m H _n , об.%	0,2–3,0	0,09–0,5
Альдегіди RCHO, %	0,0–0,2	0,001–0,009
Сажа, г/м ³	0,0–0,04	0,01–1,10
Бенз(а)пірен, г/м ³	10–20×10 ⁻⁶	10×10 ⁻⁶
Двооксид сірки, мг/м ³	0,003	0,015
Сполуки свинцю, мг/м ³	60	-

Склад вихлопних газів двигунів внутрішнього згоряння наведено за узагальненими літературними даними С.У. Jim; J.A. Salmond; R. Porek [1, 5, 10].

Вивчення морфометричних характеристик молодих особин софори японської (довжина пагонів, площа листової пластинки, кількість листочків, діаметр стебла тощо) в умовах забруднення SO₂ та NO₂ дає змогу об'єктивно оцінити ступінь негативного впливу промислових викидів та визначити адаптаційний потенціал виду.

Варто зазначити, що близько 40 % усіх шкідливих речовин, які надходять в атмосферу, утворюються внаслідок згоряння автомобільного палива.

За оцінками, автотранспорт вносить значний відсоток у загальне забруднення атмосферного повітря в Україні (рис. 1): його частка становить приблизно 48 % за оксидами карбону, 30 % за вуглеводнями та 22 % за оксидами нітрогену.

Зокрема, у більшості міст країни викиди від автотранспорту становлять 60–90 % від загального обсягу всіх антропогенних забруднень атмосфери.

Поллютанти, що надходять у повітря з вихлопними газами автотранспорту, чинять виражену токсикологічну дію на живі організми. Серед численних компонентів особливою небезпекою становить зростання рівня забруднення важкими металами, насамперед сполуками свинцю. Відомо, що свинець має нейротоксичний ефект, який особливо

небезпечний для дітей, а за підвищених концентрацій може спричинювати хромосомні аберації в людини. У науковій літературі наводяться також численні дані про негативний вплив свинцю за його накопичення у навколишньому середовищі.

Постійний вплив оксидів сірки (IV) та нітрогену (IV) на самосів *Sophora japonica* призводить до пригнічення ростових процесів (табл. 2).

Отримані результати демонструють чітку залежність морфометричних параметрів сходів *Sophora japonica* від градієнта атмосферного забруднення, зумовленого транспортними та промисловими викидами. Формування трьох експозиційних умов (умовно чиста зона, зона впливу автотранспорту та зона інтенсивного техногенного навантаження) дозволило встановити дозовідповідний прояв змін ростових параметрів рослин у межах урбоекотологічного градієнта.

Спостережуване зниження довжини кореневої системи у моніторингових точках (14,77±0,33 см та 15,35±0,25 см проти 16,53±0,40 см у контролі) свідчить про інгібування ризогенезу та пригнічення клітинної проліферації в апікальних меристемах. Подібні ефекти можуть бути пов'язані з токсичною дією оксидів азоту (NO_x) та діоксиду сірки (SO₂), які, проникаючи через продихи та кореневу систему, індукують оксидативний стрес і порушують гормональну регуляцію росту, зокрема ауксинзалежні процеси коренутворення.

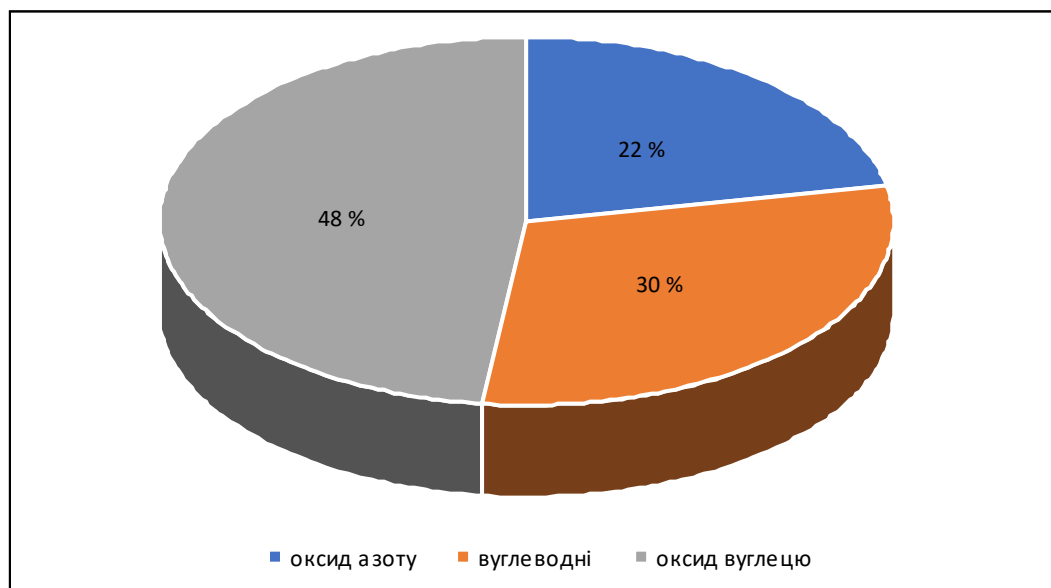


Рис. 1. Частка поллютантів у вихлопних газах автомобільного транспорту.

Таблиця 2 – Вплив компонентів вихлопних газів (SO₂, NO₂ та супутніх поллютантів) на біометричні параметри сходів *Sophora japonica*

Показник	Контроль	Моніторингова точка I	Моніторингова точка II
Характеристика повітряного середовища	умовно чиста зона	зона впливу автотранспорту	зона інтенсивного техногенного навантаження
CO ₂ (об.%)	фоновий рівень	підвищений	високий
CO (об.%)	відсутній/ мінімальний	0,1–5,0	0,1–5,0
NO _x (об.%)	фоновий	до 0,8	до 0,8
SO ₂ (мг/м ³)	фоновий	0,003	0,015
Вуглеводні (об.%)	мінімальні	0,2–3,0	0,2–3,0
Сажа (г/м ³)	відсутня	до 0,04	до 1,10
Біометричні показники рослин			
Довжина кореня, см	16,53±0,40	14,77±0,33	15,35±0,25
Діаметр кореня, мм	6,15±0,252	6,17±0,060*	7,85±0,051
Висота надземної частини, см	16,75±0,53	13,40±0,67	15,02±0,88*

Примітка: * p < 0,05.

Діаметр кореня демонструє неоднозначну реакцію: у зоні помірного забруднення спостерігається незначне зростання показника (6,17±0,060 мм), тимчасом у зоні високого техногенного навантаження відбувається його різке збільшення (7,85±0,051 мм). Така динаміка може розглядатися як прояв компенсаторної морфологічної адаптації, спрямованої на посилення механічної стійкості та збільшення площі поглинання за умов

стресового середовища. Подібні реакції описані як типова стратегія виживання деревних видів в умовах урбанізованих екосистем.

Найбільш виражені зміни виявлено у надземній частині рослин. Зменшення висоти пагона у моніторингових точках (13,40±0,67 см та 15,02±0,88 см порівняно з 16,75±0,53 см у контролі) свідчить про пригнічення апікального росту та зниження інтенсивності клітинного розтягнення. Це, ймовірно, обумовлено

комплексною дією газоподібних поллютантів (SO_2 , NO_x , CO), які негативно впливають на фотосинтетичну активність, порушують енергетичний баланс рослини та знижують доступність асимілятів для ростових процесів.

Варто зазначити, що у зоні інтенсивного техногенного навантаження спостерігається часткова компенсація ростових процесів у кореневій системі за одночасного пригнічення надземної частини. Така асиметрія розподілу ростових ресурсів може свідчити про перерозподіл пластичних речовин у бік підземних органів як адаптивну реакцію на стресові умови середовища.

Характеристика повітряного середовища підтверджує наявність комплексного поллютантного навантаження, включаючи підвищені концентрації CO_2 , CO , NO_x , вуглеводнів та завислих частинок (сажі). Особливо важливим є зростання концентрації сажі (до $1,10 \text{ г/м}^3$), яка може діяти як носій адсорбованих токсичних сполук і додатково посилювати фітотоксичний ефект. Сукупна дія цих факторів формує мультистресовий вплив, що має синергетичний прояв і не зводиться до дії окремих компонентів.

Отримані результати узгоджуються з концепцією дозвідповідної залежності між рівнем атмосферного забруднення та морфологічним станом рослин. *Sophora*

japonica демонструє чутливу реакцію на зміну екологічних умов, що проявляється у модифікації як корневих, так і пагонових структур, це дозволяє розглядати цей вид як перспективний біоіндикатор стану урбоєко-систем.

Отримані результати в таблиці 3 демонструють виражену залежність біометричних параметрів однорічних пагонів *Sophora japonica* від градієнта атмосферного забруднення, інтегрованого у вигляді індексу APF (Air Pollution Factor). Зростання APF від 0 у контрольних умовах до 1,0 у найбільш навантаженій моніторинговій точці супроводжується суттєвими морфологічними змінами, що свідчить про кумулятивний ефект дії газоподібних (NO_2 , SO_2), твердих (PM, сажа) та органічних (вуглеводні, бензапірен) поллютантів.

Зменшення річного приросту пагона (з $20,57 \pm 1,58 \text{ см}$ у контролі до $9,50 \pm 1,25 \text{ см}$ у точці II) є індикатором пригнічення меристематичної активності та зниження інтенсивності клітинного поділу під впливом техногенного навантаження. Подібні закономірності узгоджуються з даними про інгібування ростових процесів деревних рослин за умов хронічного впливу оксидів азоту та сірки, що порушують фотосинтетичний і дихальний метаболізм та призводять до енергетичного дефіциту [10, 11, 13].

Таблиця 3 – Комплексний вплив компонентів вихлопних газів (SO_2 , NO_2 та супутніх поллютантів) на біометричні параметри однорічного пагона підросту *Sophora japonica*

Показник	Контроль (фонова зона)	Моніторингова точка I	Моніторингова точка II
Характеристика атмосферного забруднення			
CO_2 (об.%)	фоновий рівень	до 16,0	до 10,0
CO (об.%)	0,1–5,0	0,1–5,0	0,01–0,5
NO_x (об.%)	до 0,8	до 0,8	до 0,5
SO_2 (мг/м ³)	0,003	0,003	0,015
Вуглеводні (СmHn, об.%)	0,2–3,0	0,2–3,0	0,09–0,5
Сажа (г/м ³)	0,0–0,04	0,04	1,10
Бенз(а)пірен (г/м ³)	$10\text{--}20 \times 10^{-6}$	20×10^{-6}	10×10^{-6}
Сполуки свинцю (мг/м ³)	60	60	–
Біометричні параметри пагона			
Річний приріст пагона, см	$20,57 \pm 1,58$	$10,36 \pm 1,40$	$9,50 \pm 1,25$
Довжина міжвузля, см	$2,65 \pm 0,10$	$1,87 \pm 0,32$	$1,95 \pm 0,17$
Кількість листків, шт.	$37,50 \pm 1,71$	$63,25 \pm 1,50$	$57,0 \pm 9,07$
Довжина черешка, см	$22,27 \pm 0,66$	$18,53 \pm 2,46$	$16,50 \pm 2,97$

Примітка: * $p < 0,05$.

Скорочення довжини міжвузля у забруднених умовах додатково підтверджує пригнічення апікального росту та порушення гормональної регуляції (зокрема ауксинзалежних процесів розтягнення клітин). Це може бути пов'язано з оксидативним стресом, індукованим накопиченням SO_2 та NO_2 , які ініціюють утворення активних форм кисню та пошкодження клітинних структур.

Водночас спостерігається нетипова реакція у вигляді збільшення кількості листків на модельній гілці у моніторинговій точці I ($63,25 \pm 1,50$ проти $37,50 \pm 1,71$ у контролі) з подальшим зниженням у точці II. Такий прояв змін може свідчити про компенсаторний морфогенез на ранніх етапах стресового впливу, коли рослина збільшує асиміляційну поверхню через формування більшої кількості, але менш функціонально ефективних листків. Подібні адаптивні реакції описані для деревних видів в умовах помірного техногенного навантаження та розглядаються як прояв фенотипової пластичності.

Зниження довжини черешка листка в умовах зростання APF (з $22,27 \pm 0,66$ см до $16,50 \pm 2,97$ см) може бути наслідком порушення водного режиму та зниження тургорного тиску клітин, що характерно для дії газоподібних поллютантів. Це узгоджується з даними про структурні зміни листкового апарату деревних рослин за умов урбоекологічного стресу.

Інтегральний індекс APF демонструє високу інформативність як узагальнений показник техногенного навантаження, оскільки його зростання корелює з погіршенням усіх досліджених біометричних параметрів. Отже, встановлено чітку дозовідповідну залежність між рівнем атмосферного забруднення та ростовими характеристиками *Sophora japonica*, що підтверджує доцільність використання цього виду як біоіндикатора стану урбоєкосистем.

Отримані результати також узгоджуються з уявленнями про синергетичну дію поллютантів транспортного походження, коли комбінований вплив NO_2 , SO_2 , твердих частинок та органічних сполук посилює загальний фітотоксичний ефект порівняно з дією окремих компонентів. Це підкреслює важливість використання інтегральних індексів забруднення для оцінювання екологічного стану міських територій.

Отримані результати (табл. 4) свідчать про істотний вплив атмосферного забруднення, зумовленого SO_2 та NO_2 , на морфометричні показники асиміляційного апарату самосіву *Sophora japonica*. Загальна тенденція змін характеризується зменшенням асиміляційної поверхні та модифікацією структурної організації листкового апарату у напрямку адаптації до умов техногенного навантаження.

Найбільш виражене зниження встановлено для площі листкової пластинки, яка зменшилася з $13,66 \pm 0,35$ cm^2 у контрольних умовах до $5,47 \pm 0,45$ cm^2 у зоні інтенсивного забруднення та $7,60 \pm 0,40$ cm^2 у проміжній точці. Подібна редукція площі листка є типовою реакцією деревних видів на дію газоподібних поллютантів і може бути пов'язана з ушкодженням мезофілу, зниженням інтенсивності клітинного розтягнення та порушенням формування фотосинтетичних тканин. Такий ефект безпосередньо впливає на зменшення фотосинтетичної продуктивності та загального енергетичного балансу рослин.

Площа окремого листочка складного листка також демонструє значне зниження (з $2,53 \pm 0,13$ cm^2 до $1,17 \pm 0,12$ cm^2 у зоні високого забруднення), що свідчить про мікоморфологічну редукцію асиміляційних структур. Такі зміни є характерними для умов оксидативного стресу, спричиненого дією SO_2 та NO_2 , які ініціюють утворення активних форм кисню та пошкодження клітинних мембран.

Таблиця 4 – Вплив SO_2 та NO_2 на біометричні показники асиміляційного апарату самосіву *Sophora japonica*

Показник	Контроль	Моніторингова точка I	Моніторингова точка II
Площа листочка, cm^2	$2,53 \pm 0,13$	$1,17 \pm 0,12$	$1,30 \pm 0,07$
Кількість листочків у складному листку, шт.	$5,37 \pm 0,23$	$4,63 \pm 0,10$	$5,80 \pm 0,16^*$
Площа листка, cm^2	$13,66 \pm 0,35$	$5,47 \pm 0,45$	$7,60 \pm 0,40$
Кількість листків, шт.	$6,57 \pm 0,20$	$7,95 \pm 0,17$	$7,82 \pm 0,23$
Площа листкової поверхні, cm^2	$89,94 \pm 1,41$	$43,61 \pm 0,92$	$59,57 \pm 0,88$

Примітка: * $p < 0,05$.

Водночас кількість листочків у складному листку демонструє неоднозначну реакцію: у зоні помірного навантаження спостерігається зростання показника ($5,80 \pm 0,16$ проти $5,37 \pm 0,23$ у контролі), тимчасом у зоні високого забруднення відбувається його зниження ($4,63 \pm 0,10$). Така динаміка може розглядатися як прояв компенсаторної морфологічної відповіді, коли рослина на ранніх стадіях стресу збільшує фрагментацію листка з метою часткового збереження асиміляційної функції, однак за посилення токсичного навантаження цей механізм втрачає ефективність.

Кількість листків на пагоні, навпаки, зростає у забруднених умовах ($7,95 \pm 0,17$ та $7,82 \pm 0,23$ проти $6,57 \pm 0,20$ у контролі), що може свідчити про перерозподіл ростових ресурсів та формування дрібніших, але численніших асиміляційних органів. Така стратегія характерна для рослин, що перебувають у стані хронічного стресу, і розглядається як адаптивний механізм підтримання фотосинтетичної активності за умов зменшення площі окремих листків.

Найбільш інтегральним показником стану асиміляційного апарату є загальна площа листової поверхні, яка зменшується більш ніж удвічі у зоні високого техногенного на-

вантаження (з $89,94 \pm 1,41$ до $43,61 \pm 0,92$ см²). Це свідчить про суттєве пригнічення фотосинтетичного потенціалу рослин та є прямим наслідком синергетичної дії SO₂ та NO₂, які порушують структуру хлоропластів, знижують вміст хлорофілу та інгібують процеси фотосинтезу.

Отримані результати узгоджуються з концепцією дозовідповідної реакції рослин на атмосферне забруднення, згідно з якою збільшення концентрації газоподібних поллютантів призводить до прогресуючої редукції асиміляційної поверхні та зміни архітектури листового апарату. *Sophora japonica* демонструє високу чутливість до дії SO₂ та NO₂, що дозволяє розглядати цей вид як ефективний біоіндикатор стану урбоєкосистем.

Отримані результати (табл. 5) демонструють виражений вплив компонентів вихлопних газів бензинових і дизельних двигунів (зокрема NO_x, SO₂, CO, твердих частинок та поліциклічних ароматичних вуглеводнів) на морфометричні показники асиміляційного апарату однорічного пагона підросу *Sophora japonica*. Формування двох моніторингових точок із різним рівнем техногенного навантаження дозволило встановити дозовідповідний прояв змін у межах урбоєкологічного градієнта.

Таблиця 5 – Комплексний вплив компонентів вихлопних газів бензинових і дизельних двигунів (NO_x, SO₂ та супутніх поллютантів) на біометричні показники асиміляційного апарату однорічного пагона підросу *Sophora japonica*

Показник	Контроль	Моніторингова точка I	Моніторингова точка II
Характеристика атмосферного забруднення (склад вихлопних газів)			
CO ₂ (об.%)	0,0–16,0	1,0–10,0	0,0–16,0
CO (об.%)	0,1–5,0	0,01–0,5	0,1–5,0
NO _x (об.%)	0,0–0,8	0,0002–0,5	0,0–0,8
SO ₂ (мг/м ³)	0,003	0,015	0,003
Вуглеводні (C _m H _n , об.%)	0,2–3,0	0,09–0,5	0,2–3,0
Сажа (г/м ³)	0,0–0,04	0,01–1,10	0,0–0,04
Бенз(а)пірен (г/м ³)	10–20×10 ⁻⁶	10×10 ⁻⁶	10–20×10 ⁻⁶
Сполуки свинцю (мг/м ³)	60	–	60
Біометричні показники асиміляційного апарату			
Площа листочка, см ²	6,71 ± 0,25	6,06 ± 0,22	6,12 ± 0,26
Кількість листочків у складному листку, шт.	18,11 ± 3,82	16,28 ± 2,25	15,51 ± 2,67
Площа листка, см ²	117,01 ± 10,01	89,76 ± 9,11	92,21 ± 6,47
Площа листової поверхні, см ²	4388,66 ± 26,62	5678,84 ± 64,01	5264,61 ± 31,11

Примітка: * p < 0,05.

Аналіз хімічного складу вихлопних газів показує, що найбільш екологічно значущими поллютантами є оксиди нітрогену (NO_x до 0,8 об.%), діоксид сірки (SO_2 до 0,015 мг/м³ у дизельних двигунах), а також тверді частинки (сажа до 1,10 г/м³), які характеризуються високою здатністю до адсорбції токсичних органічних сполук. Сукупна дія цих компонентів формує мультифакторний стрес, який визначає фізіологічний стан рослин.

Встановлено, що площа окремого листочка зменшується у моніторингових точках ($6,06 \pm 0,22$ см² та $6,12 \pm 0,26$ см²) порівняно з контролем ($6,71 \pm 0,25$ см²). Таке зниження свідчить про пригнічення клітинного розтягнення та порушення формування мезофілу під впливом газоподібних поллютантів, що узгоджується з даними про оксидативний стрес та деградацію фотосинтетичних структур.

Кількість листочків у складному листку також демонструє тенденцію до зменшення у забруднених умовах ($16,28 \pm 2,25$ та $15,51 \pm 2,67$ проти $18,11 \pm 3,82$ у контролі), що може бути пов'язано з інгібуванням морфогенезу та зниженням активності апікальних меристем. Це свідчить про порушення регуляції розвитку листового апарату під дією NO_x та SO_2 .

Площа окремого листка зменшується з $117,01 \pm 10,01$ см² у контролі до $89,76 \pm 9,11$ см² та $92,21 \pm 6,47$ см² у моніторингових точках, що підтверджує редукцію асиміляційної поверхні на рівні органа. Подібні зміни є типовими для рослин, що зазнають хронічного впливу урботехногенного забруднення, та розглядаються як адаптивна відповідь, спрямована на зменшення транспіраційних втрат і токсичного навантаження через пориди.

Водночас загальна площа листової поверхні демонструє нетипову динаміку: її значення зростає у моніторингових точках ($5678,84 \pm 64,01$ см² та $5264,61 \pm 31,11$ см²) порівняно з контролем ($4388,66 \pm 26,62$ см²). Така тенденція може бути пояснена компенсаторною стратегією рослин, яка полягає у збільшенні кількості дрібніших листків для підтримання загальної фотосинтетичної продуктивності в умовах зниження площі окремих листових пластинок. Це явище відповідає концепції фенотипової пластичності деревних видів у міських екосистемах.

Отже, результати підтверджують наявність складної нелінійної реакції асиміляційного апарату *Sophora japonica* на дію техногенного забруднення. Найбільш чутливими параметрами є площа окремого листочка та кількість листочків у складному листку, тимчасом загальна площа листової поверхні ві-

дображає компенсаторні механізми адаптації. Сукупний вплив NO_x , SO_2 та твердих частинок має синергетичний прояв і призводить до перебудови морфологічної структури листового апарату.

Отримані дані узгоджуються з концепцією дозовідповідної реакції рослин на атмосферне забруднення та підтверджують доцільність використання *Sophora japonica* як біоіндикаторного виду для оцінки стану урбоекосистем.

Висновки. Встановлено, що молоді рослини *Sophora japonica* є чутливими до дії аерогенних поллютантів промислово-транспортного походження, зокрема SO_2 та NO_2 , що призводить до суттєвих морфометричних змін ростових параметрів.

Під впливом техногенного забруднення відбувається виражене пригнічення ростових процесів. Довжина головного кореня зменшується з $16,53 \pm 0,40$ см у контролі до $14,77 \pm 0,33$ см у зоні помірного забруднення та $15,35 \pm 0,25$ см у зоні підвищеного навантаження, що відповідає зниженню на 4,6–10,7 % відносно контролю. Висота надземної частини знижується з $16,75 \pm 0,53$ см до $13,40 \pm 0,67$ см і $15,02 \pm 0,88$ см відповідно, що становить скорочення на 10,4–20,0 %.

Виявлено також істотні зміни асиміляційного апарату. Площа окремого листка зменшується з $13,66 \pm 10,01$ см² у контролі до $5,47 \pm 0,45$ см² та $7,60 \pm 0,40$ см² у забруднених умовах, що відповідає зниженню на 38,5–59,9 %. Площа листової пластинки окремого листочка скорочується з $2,53 \pm 0,13$ см² до $1,17 \pm 0,12$ см² та $1,30 \pm 0,07$ см², що становить зменшення на 48,6–53,8 %.

Найбільш інтегральний показник – площа листової поверхні – демонструє різноспрямовану реакцію: у зоні помірного навантаження вона зменшується до $89,76 \pm 9,11$ см² (на 23,3 %), тимчасом у зоні інтенсивного навантаження збільшується до $92,21 \pm 6,47$ см² (на 21,2 %), що свідчить про компенсаторну перебудову морфоструктури рослин.

Кількість листочків у складному листку зменшується з $18,11 \pm 3,82$ до $16,28 \pm 2,25$ та $15,51 \pm 2,67$ шт., що становить зниження на 10,1–14,3 %, тимчасом кількість листків на пагоні демонструє відносне зростання до $7,95 \pm 0,17$ шт. (+20,9 %) у зоні помірного забруднення, що може свідчити про компенсаторний прояв морфогенезу.

Отримані результати підтверджують високу інформативність *Sophora japonica* як біоіндикаторного виду. Найбільш чутливими показниками є площа листової пластин-

ки та параметри асиміляційної поверхні, які доцільно використовувати для оцінювання рівня атмосферного забруднення в урбанізованих та промислових екосистемах.

Практичне значення дослідження полягає у можливості застосування отриманих морфометричних показників для біоіндикації стану повітряного середовища, моніторингу техногенного навантаження та оптимізації систем міського озеленення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Jim C.Y., Chen W.Y. Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *Journal of Environmental Economics and Management*. 2008. 88(4). P. 665–676. DOI: 10.1016/j.jenvman.2007.03.035
2. 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. Vol. 10 (2). P. 173–184. DOI: 10.1515/pesd-2016-0035
3. Курка С.С. Особливості вирощування *Sophora japonica* L. у садово-паркових господарствах. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29. № 7. С. 45–49. DOI: 10.15421/40290710
4. Курка С.С., Шлапак В.П., Адаменко С.А., Ішчук Г.П. Характеристика плодів і насіння рослини *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott та способи усунення їх твердонасінності. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020. Т. 30. № 4. С. 9–13. DOI: 10.36930/40300401
5. Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment / J.A. Salmond et al. *Environmental Health*. 2016. Vol. 15 (Suppl 1). 36 p. DOI: 10.1186/s12940-016-0103-6
6. Gostin I. Air pollution effects on the leaf structure of some Fabaceae species. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2009. Vol. 37(2). DOI: 10.15835/nbha3723078
7. Ecophysiological evaluation of tree species for biomonitoring of air quality / A. Sen et al. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2017. Vol. 189(6). 262 p. DOI: 10.1007/s10661-017-5955-x
8. Бессонова В.П., Іванченко О.Є. Оцінка видового різноманіття придорожніх насаджень м. Дніпро. *Питання біоіндикації та екології*. 2019. Вип. 24. № 1. С. 36–56. DOI: 10.26661/2312-2056/2019-24/1-03
9. Морфологічна оцінка деревних рослин Київського мегаполісу / О.Г. Луцишин та ін. *Доповіді НАН України*. 2010. № 7. С. 188–195.
10. Impact of particulate matter accumulation on the photosynthetic apparatus / R. Popek et al. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. Vol. 163. P. 56–62. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.07.051
11. Influence of contamination on photosynthetic pigments / V.P. Bessonova et al. *Biosystems Diversity*. 2020. Vol. 28(2). P. 203–208. DOI: 10.15421/012026
12. Іванченко О.Є., Бессонова В.П. Індикація стану деревних рослин. *Visnyk of Dnipropetrovsk*

University. 2016. Т. 24(1). С. 109–118. DOI: 10.15421/011613

13. Адаптація деревних рослин урбоедафотопів / О.Г. Луцишин та ін. *Доповіді НАН України*. 2013. № 5. С. 186–192.

14. Гришко В.М. Ріст деревних рослин в умовах техногенного забруднення. *Український ботаничний журнал*. 2002. Т. 59. № 1. С. 79–89.

15. Глібовицька Н.І. Фізико-хімічні параметри листків *Tilia cordata*. *Вісник Харківського національного університету*. 2013. № 1079. С. 180–185.

16. Склярєнко А.В. Оцінювання флуктуючої асиметрії *Betula pendula*. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29. № 6. С. 54–57. DOI: 10.15421/40290611

17. Бессонова В.П., Чонгова А.С. Видовий склад деревних рослин. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. Т. 31. № 2. С. 21–27. DOI: 10.36930/40310203

18. Петрушкевич Ю.М. Вплив промислових умов на *Betula pendula*. *Наукові записки ТНПУ*. 2018. Вип. 1(72). С. 82–89.

19. Зайцева І.О., Долгова Л.Г. Фізіолого-біохімічні основи інтродукції рослин. *Дніпропетровськ*, 2010. 388 с.

20. Казаков Є.О. Методологічні основи експерименту з фізіології рослин. *Дніпропетровськ*, 2000. 272 с.

21. Usipiva T. Root morphometric characteristics under pollution conditions. *Proceedings of International Conference*. 2001. P. 680–684.

22. Study of flavonoids extraction / L. Pelekhova et al. *Technology Audit and Production Reserves*. 2024. No 5/3(79). P. 6–10. DOI: 10.15587/2706-5448.2024.312703

REFERENCES

1. Jim, C.Y., Chen, W.Y. (2008). Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 88(4), pp. 665–676. DOI: 10.1016/j.jenvman.2007.03.035
2. Stratu, A., Costica, N., Costica, M. (2016). Wooden species in the urban green areas and their role in improving the quality of the environment. *Present Environment and Sustainable Development*. Vol. 10(2), pp. 173–184. DOI: 10.1515/pesd-2016-0035
3. Kurka, S.S. (2019). Osoblyvosti vyroshchuvannya *Sophora japonica* L. u sadovo-parkovykh gospodarstvakh [Peculiarities of cultivation of *Sophora japonica* L. in horticultural farms]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of UNFU]*. Vol. 29(7), pp. 45–49. DOI: 10.15421/40290710
4. Kurka, S.S., Shlapak, V.P., Adamenko, S.A., Ishchuk, H.P. (2020). Kharakterystyka plodiv i nasinnia roslyn *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott ta sposoby usunennia yikh tverdonasinnosti [Characteristics of fruits and seeds of *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott and methods of overcoming seed dormancy]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of UNFU]*. Vol. 30(4), pp. 9–13. DOI: 10.36930/40300401

5. Salmond, J.A. (2016). Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health*. Vol. 15 (Suppl. 1), 36 p. DOI: 10.1186/s12940-016-0103-6
6. Gostin, I. (2009). Air pollution effects on the leaf structure of some Fabaceae species. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. Vol. 37(2). DOI: 10.15835/nbha3723078
7. Sen, A. (2017). Ecophysiological evaluation of tree species for biomonitoring of air quality. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 189(6), 262 p. DOI: 10.1007/s10661-017-5955-x
8. Bessonova, V.P., Ivanchenko, O.Ye. (2019). Otsinka vydovoho riznomanittia prydorozhnikh nasadzhen m. Dnipro [Assessment of species diversity of roadside plantations of Dnipro city]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii* [Issues of bioindication and ecology]. Vol. 24(1), pp. 36–56. DOI: 10.26661/2312-2056/2019-24/1-03
9. Lutsyshyn, O.H. (2010). Morfofiziologichna otsinka derevnykh roslyn Kyivskoho mehapolisu [Morphophysiological assessment of woody plants of Kyiv metropolis]. *Dopovidi NAN Ukrainy* [Reports of the NAS of Ukraine]. no. 7, pp. 188–195.
10. Popek, R. (2018). Impact of particulate matter accumulation on the photosynthetic apparatus. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol. 163, pp. 56–62. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.07.051
11. Bessonova, V.P. (2020). Influence of contamination on photosynthetic pigments. *Biosystems Diversity*. Vol. 28(2), pp. 203–208. DOI: 10.15421/012026
12. Ivanchenko, O.Ye., Bessonova, V.P. (2016). Indykatsiia stanu derevnykh roslyn [Indication of the condition of woody plants]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu* [Bulletin of Dnipropetrovsk University]. Vol. 24(1), pp. 109–118. DOI: 10.15421/011613
13. Lutsyshyn, O.H. (2013). Adaptatsiia derevnykh roslyn urboedafotopiv [Adaptation of woody plants to urban edaphotopes]. *Dopovidi NAN Ukrainy* [Reports of the NAS of Ukraine]. no. 5, pp. 186–192.
14. Hryshko, V.M. (2002). Rist derevnykh roslyn v umovakh tekhnogennoho zabrudnennia [Growth of woody plants under technogenic pollution]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal* [Ukrainian Botanical Journal]. Vol. 59(1), pp. 79–89.
15. Hlibovytska, N.I. (2013). Fyzyko-khimichni parametry lystkiv *Tilia cordata* [Physicochemical parameters of *Tilia cordata* leaves]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu* [Bulletin of Kharkiv National University]. no. 1079, pp. 180–185.
16. Skliarenko, A.V. (2019). Otsiniuvannia fluktuichochoi asymetrii *Betula pendula* [Assessment of fluctuating asymmetry of *Betula pendula*]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy* [Scientific Bulletin of UNFU]. Vol. 29(6), pp. 54–57. DOI: 10.15421/40290611
17. Bessonova, V.P., Chonhova, A.S. (2021). Vydyvnyi sklad derevnykh roslyn [Species composition of woody plants]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy* [Scientific Bulletin of UNFU]. Vol. 31(2), pp. 21–27. DOI: 10.36930/40310203
18. Petrushkevych, Yu.M. (2018). Vplyv promyslovykh umov na *Betula pendula* [Influence of industrial conditions on *Betula pendula*]. *Naukovi zapysky TNPU* [Scientific notes of TNPU]. Vol. 1(72), pp. 82–89.
19. Zaitseva, I.O., Dolhova, L.H. (2010). Fiziolohe-biokhimichni osnovy introduktsii roslyn [Physiological and biochemical bases of plant introduction]. Dnipropetrovsk, 388 p.
20. Kazakov, Ye.O. (2000). Metodolohichni osnovy eksperymentu z fiziolohii roslyn [Methodological foundations of experiment in plant physiology]. Dnipropetrovsk, 272 p.
21. Usipiva, T. (2001). Root morphometric characteristics under pollution conditions. *Proceedings of International Conference*. pp. 680–684.
22. Pelekhova, L. (2024). Study of flavonoids extraction. *Technology Audit and Production Reserves*. no. 5/3(79), pp. 6–10. DOI: 10.15587/2706-5448.2024.312703

Morphometric features of *Sophora japonica* L. growth under industrial pollution conditions

Kurka S., Ischuk H., Ischuk L., Koval S., Vitenko V.

The article presents the results of a study on the impact of industrial emissions of the toxic gases SO₂ and NO₂ on the morphometric and biometric parameters of self-sown and one-year-old juvenile *Sophora japonica* L. plants within the southern industrial zone of Odesa (Ukraine). The aim of the research was to assess the response of young *S. japonica* plants to the influence of aerogenic pollutants and to identify morphometric traits suitable for the bioindication of technogenic stress in urban ecosystems.

Sampling was conducted in July 2023 at three monitoring sites differing in air pollution levels: two experimental plots located within the impact zone of the Odesa Oil Refinery and one relatively clean control plot situated in Oleksandrivskyi Park in central Odesa. Monitoring site I was characterised by a moderate level of pollution (average gas concentrations: SO₂ – 0.14 mg/m³, NO₂ – 0.12 mg/m³) and was located 3 km from the emission source. Monitoring site II had the highest pollution level and was situated 2 km from the refinery, where the concentrations of SO₂ and NO₂ reached 0.28 mg/m³ and 0.23 mg/m³, respectively. According to the Odesa Municipal Sanitary Committee, the concentrations of sulfur (IV) oxide and nitrogen (IV) oxide in the control area did not exceed the maximum permissible concentrations.

The results demonstrated that prolonged exposure to aerogenic pollutants leads to a marked suppression of growth processes in young *S. japonica* plants, particularly through the inhibition of axial organ development and a reduction in the photosynthetic surface area. Significant decreases in main root length, leaf blade area, and total assimilative surface index were recorded under conditions of elevated technogenic pollution. These findings indicate the high sensitivity of the introduced species *S. japonica*

to sulfur and nitrogen oxides, making it a promising species for phytomonitoring and environmental bio-indication in industrially affected regions.

Based on the obtained data, the study recommends the use of morphometric traits such as main root length, leaf blade area, and assimilative surface index as reliable diagnostic indicators for assessing

the physiological state of young *Sophora japonica* L. plants in technogenically polluted ecosystems and for monitoring the impact of industrial emissions on urban vegetation.

Key words: juvenile growth, biometric parameters, industrial emissions, toxic gases SO₂ and NO₂, leaf surface area.



Copyright: Курка С.С. та ін. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Курка С.С.

Ішук Г.П.

Ішук Л.П.

Коваль С.А.

Вітенко В.А.

<https://orcid.org/0000-0002-7722-2483>

<https://orcid.org/0000-0002-4969-0933>

<https://orcid.org/0000-0003-2150-0672>

<https://orcid.org/0000-0002-5897-9376>

<https://orcid.org/0000-0001-5762-9238>