

## САДОВО-ПАРКОВЕ ГОСПОДАРСТВО

УДК 634.54:631.811.98:57:581

**Прояв анатомічних змін в листках представників роду *Corylus L.*, як індикатор адаптації до різних екологічних умов зростання**Балабак О.А.<sup>1</sup> , Залізник А.М.<sup>1,2</sup> <sup>1</sup> Уманський національний університет<sup>2</sup> Національний дендрологічний парк «Софіївка» НАН України Балабак О.А. E-mail: o.a.balabak@ukr.net

Балабак О.А., Залізник А.М. Прояв анатомічних змін в листках представників роду *Corylus L.*, як індикатор адаптації до різних екологічних умов зростання. «Агробіологія», 2025. № 2. С. 268–275.

Balabak O., Zalizniak A. Anatomical changes in the leaves of *Corylus L.* species as an adaptation indicator to different ecological growth conditions. «Agrobiology», 2025. no. 2, pp. 268–275.

Рукопис отримано: 01.10.2025 р.

Прийнято: 16.10.2025 р.

Затверджено до друку: 27.11.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2025-199-2-268-275

У статті розглянуто анатомічні зміни листків ліщини горіхової (*Corylus colurna L.*) як показник адаптації до різного ступеня урбано-техногенного навантаження в умовах урбанізованого середовища міста Умань. В дослідженнях використано чотири варіанти зростання горіхоплідних рослин: придорожню ділянку з інтенсивним рухом автотранспорту, охоронну зону парку «Софіївка», адміністративну зону парку та внутрішню частину парку. Кількісні показники продигового апарату у всіх варіантах досліджуваної отримано за дослідження відбитків епідермісу, а товщину епідермісу, мезофілу та кутикули вимірювали за допомогою мікроскопічних зрізів. Морфометрія листків включала оцінку довжини, ширини, довжини черешка та площі пластинки. У порівняльному аналізі анатомічних параметрів виявлено, що листки рослин ліщини горіхової, які ростуть уздовж дороги з інтенсивним транспортним рухом, демонструють низку помітних адаптивних змін. Насамперед у них збільшена кількість продихів, водночас фіксується зменшення їх розмірів, що дає змогу більш точно регулювати транспірацію в умовах підвищеного пилового та теплового навантаження. Мезофіл в таких листках потовщується рівномірно в обох своїх шарах: стовпчаста паренхіма розширює фотосинтетичну поверхню, а губчаста – збільшує місткість міжклітинних просторів для накопичення води й газів. Це дозволяє підтримувати високу продуктивність фотосинтезу навіть за дефіциту вологи. Одночасно верхній і нижній епідермальні шари ущільнені, що формує надійний бар'єр від механічного та хімічного стресу. Проте шар кутикули зменшується через руйнівний вплив газових викидів. Попри всі ці зміни, зовнішня форма й загальні розміри листка залишаються майже незмінними, що вказує на їх морфологічну стабільність навіть в умовах урбаністичного стресу.

Отримані дані підтверджують, що в дослідних зразках *Corylus colurna L.* встановлено комплексні зміни клітин мезофілу, зокрема потовщення паренхіми та епідермісу за одночасного зменшення кутикули, а це значно сприяє збереженню ефективного газообміну, фотосинтетичного потенціалу та водоутримувальної здатності листків в умовах урбанізованого середовища. Результати вказують на доцільність використання ліщини горіхової в озелененні міських територій Правобережного Лісостепу України для підтримки стійких насаджень до факторів урбогенного впливу.

**Ключові слова:** *Corylus colurna L.*, продихова щільність, паренхіма, кутикула, епідерміс, урбано-техногенний стрес, ксероморфні адаптації.

**Постановка проблеми, аналіз останніх досліджень і публікацій.** Листок є найбільш багатофункціональною складовою рослини, і зміни в його структурі можуть свідчити про рівень адаптації виду до змін навколишнього середовища. Для оцінки стійкості рослин до умов урбанізованого середовища важливо враховувати взаємозв'язок між анатомічною будовою асиміляційного апарату та особливостями водного обміну.

Анатомічна структура листка дозволяє визначити ступінь спеціалізації виду та його адаптацію до стану середовища, зокрема стійкості до умов зростання і забезпеченості вологою. Зміни в структурі листка вважаються важливим показником стійкості рослин як до посухи, так і до забруднення [2, 4, 13].

Ліщину горіхову часто використовують для озеленення в міських насадженнях, парках, місцях відпочинку тощо [5, 6, 8, 11]. Однак фізіологічні зміни в структурі асиміляційних органів цих та інших перспективних для озеленення видів ліщини за різних умов зростання потребують уточнень.

Анатомічні складові листка відіграють ключову роль у визначенні здатності рослин до адаптації в умовах урбаністичного стресу. Зміни в будові продихового апарату, товщині паренхіми та кутикули слугують індикаторами стійкості до впливу підвищеного техногенного навантаження. Опубліковані результати досліджень екологічної стійкості представників *Corylus colurna* L. вказують, що в умовах дорожньої смуги з інтенсивним рухом транспортних засобів листки цієї ліщини демонструють підвищену густоту продихів та одночасне потовщення клітин мезофілу, що є оптимальним для проходження процесів фотосинтезу та накопичення води [1, 4, 7, 9, 17].

У клітинах мезофілу стовпчаста та губчаста паренхіми виконують різні функції: стовпчаста паренхіма, що складається з ущільнених подовжених клітин із високою концентрацією хлоропластів, забезпечує основну фотосинтетичну активність, тимчасом губчаста паренхіма із великими міжклітинними проміжками сприяє ефективному газообміну та резервуванню води й вуглекислого газу. Стовпчаста та губчаста тканини можуть змінюватись під впливом урбаністичного навантаження, зокрема потовщуючись на 20–30 % порівняно з умовами контролю [3, 4, 14].

Зміни товщини епідермісу листка виявляються в потовщенні верхнього і нижнього шарів, що підвищує стійкість до пилових та хімічних частинок. Анатомічні та функціональні ознаки листової поверхні, зокрема

зміни товщини кутикули і епідермісу, відображають здатність рослин активно протидіяти головним урбаністичним змінам – забрудненню повітря, тепловому навантаженню та дефіциту вологи [12, 15, 18].

Водночас кутикула за умов високої концентрації викидів часто редукується через руйнування воскових компонентів, що відображає відповідність між газообміном та бар'єрними функціями покриву [10, 14, 16].

Незважаючи на практичну цінність рослин *Corylus colurna* L. для міського озеленення, потребує дослідження її адаптаційних реакцій листків у різних екологічних умовах. Опрацьовані нами літературні джерела висвітлюють окремі аспекти анатомічних змін та екологічну стійкість ліщини горіхової [9, 14, 19], однак комплексне визначення внутрішніх змін асиміляційного апарату залежно від різних умов урбано-техногенного навантаження потребувало додаткових досліджень.

**Мета досліджень.** Провести комплексний аналіз анатомічної будови листків *Corylus colurna* L. у різних за інтенсивністю екологічного навантаження умовах вирощування. Завдання передбачали визначення кількості та розмірів продихів, товщини епідермісу, паренхімних шарів і кутикули, а також порівняння морфометричних параметрів листка. Отримані результати досліджень були використані для рекомендацій щодо використання *Corylus colurna* L. у стійких урбанізованих насадженнях.

**Матеріал і методи дослідження.** Об'єктом дослідження є ліщина горіхова (*Corylus colurna* L.). Кількість продихів на одиницю площі та розмір їх клітин визначали на відбитках епідермісу листків, отриманих за методом Г.Х. Молотковського [1].

Поперечні зрізи листків були зроблені за допомогою ручного мікротома. У дослідженнях було використано мікроскоп марки Levenhuk MED Series.

Було визначено товщину листка, товщину епідермісу, а також стовпчастої та губчастої паренхіми. Зразки було відібрано з модельних рослин *Corylus colurna* L. на висоті 1,75–2,25 м від рівня ґрунту у різних зонах зростання, тобто в придорожніх насадженнях з великою інтенсивністю автомобільного руху, в умовно чистих місцях зростання та в чистій зоні.

Розрахунок щільності продихів на одну клітину був обрахований за формулою:  $SD = \times 100 \%$ . Цей показник показує, скільки продихів припадає на 100 клітин епідермісу (або в процентах від числа клітин). Для ва-

ріантів досліджу:  $S=149,56$  шт./мм<sup>2</sup>,  $E=2557,60$  шт./мм<sup>2</sup>. Продиховий індекс обраховували за класичною формулою Stomatal index (SI)  $= (S / (S + E)) \times 100$  %, де  $S$  – кількість продихів на 1 мм<sup>2</sup>,  $E$  – кількість клітин нижнього епідермісу на 1 мм<sup>2</sup>.

**Результати досліджень та обговорення.** Для рослин роду *Corylus colurna* L. характерне розташування продихів на нижньому боці листків. Таке розташування сприяє зменшенню втрати води та захищає продихи від надмірного впливу тепла і повітряних потоків.

Розміри продихів, їх форма а також кількість є різною в досліджуваних варіантах ліщини горіхової. Їх кількість варіюється від 149,56 до 194,14 мкм. У дослідженнях використано чотири варіанти досліджу – місця зростання горіхоплідних рослин за різних екологічних умов: 1 – придорожня ділянка м. Умань з інтенсивним рухом автотранспорту, 2 – охоронна зону парку «Софіївка», що межує з ділянкою з інтенсивним рухом автотранспорту, 3 – адміністративна зона парку та 4 – внутрішня частина парку (табл. 1).

Аналіз кількості продихів показав їх найбільше значення в другому варіанті досліджу (охоронна зону парку «Софіївка») – 194,14 шт./мм<sup>2</sup>, тимчасом найнижче зафіксовано в першому варіанті (придорожня ділянка

м. Умань з інтенсивним рухом автотранспорту) – 149,56 шт./мм<sup>2</sup>. У четвертому і третьому варіантах відповідні показники становили 160,07 та 182,71 шт./мм<sup>2</sup>.

Проведені дослідження анатомічної будови епідермісу й клітин мезофілу вказують, що стовпчаста паренхімалістка *Corylus colurna* L. у другому варіанті досліджу вирізнялася значним розвитком: середня її товщина становила  $45,22 \pm 3,09$  мкм, що на 30 % більше, ніж у першому варіанті, і майже на 31 % перевищує найтонший шар у третьому варіанті ( $34,57 \pm 2,90$  мкм), (табл. 2).

Значна різниця в товщині клітинного шару свідчить про високу пластичність асиміляційної тканини за умов підвищеного екологічного навантаження. Потовщена стовпчаста паренхіма забезпечує суттєве збільшення фотосинтетичної поверхні завдяки більшій кількості клітин, які розміщені перпендикулярно до поверхні листка, що сприяє ефективнішому поглинанню світла та більш інтенсивній фіксації вуглекислого газу. Крім того, посилений розвиток цього шару сприяє формуванню додаткових міжклітинних просторів, які виконують накопичувальну функцію для води й водяної пари, стабілізуючи тургор тканин у періоди дефіциту вологи.

Таблиця 1 – Кількісні показники продихового апарату листків *Corylus colurna* L. за різних умов вирощування, (2022–2025 рр.)

Варіант досліджу	Кількість продихів на 1 мм <sup>2</sup> , шт.	Розміри продихів, довжина, мкм	Розміри продихів, ширина, мкм	Число клітин на 1 мм <sup>2</sup> нижнього епідермісу	Продиховий індекс, %	Щільність продихів на одну клітину, %
1	149,56	$23,97 \pm 2,81$	$20,30 \pm 2,33$	$2557,60 \pm 180,70$	5,53	5,85
2	194,14	$26,97 \pm 3,28$	$21,24 \pm 1,57$	$2092,02 \pm 376,90$	8,49	9,28
3 (к)	182,71	$26,81 \pm 2,62$	$21,54 \pm 1,99$	$2592,32 \pm 295,80$	6,58	7,05
4	160,07	$25,70 \pm 0,78$	$16,64 \pm 0,95$	$2351,90 \pm 71,00$	6,37	6,81

Таблиця 2 – Анатомічна будова листків *Corylus colurna* L. за різних умов вирощування, (2022–2025 рр.)

Частина листка	Варіант досліджу			
	1	2	3(к)	4
Стовпчаста паренхіма, мкм	$39,84 \pm 2,35$	$45,22 \pm 3,09$	$34,57 \pm 2,90$	$39,30 \pm 2,45$
Губчаста паренхіма, мкм	$70,38 \pm 5,34$	$74,44 \pm 8,60$	$47,34 \pm 1,37$	$60,92 \pm 3,46$
Верхній епідерміс, мкм	$13,05 \pm 0,89$	$16,25 \pm 1,66$	$12,96 \pm 0,77$	$12,16 \pm 1,01$
Нижній епідерміс, мкм	$9,20 \pm 1,10$	$15,92 \pm 1,21$	$11,20 \pm 3,11$	$10,39 \pm 1,12$
Кутикула, мкм	$4,19 \pm 0,67$	$3,94 \pm 0,63$	$4,07 \pm 0,18$	$5,43 \pm 0,35$
Повна товщина листка, мкм	$146,91 \pm 2,43$	$156,31 \pm 3,19$	$136,69 \pm 4,67$	$130,11 \pm 4,56$

У третьому варіанті, де товщина стовпчастої паренхіми була найнижчою ( $34,57 \pm 2,90$  мкм), можна припустити, що відносно менш інтенсивне техногенне навантаження або інші екологічні фактори (наприклад, зниження температури чи доступності поживних речовин) обмежують продукцію фотосинтетичного апарату саме в цьому шарі. Тонша стовпчаста паренхіма вказує на меншу потребу в збільшенні додаткової кількості хлорофілу, оскільки в більш оптимальних умовах світлове й водне забезпечення є достатніми для підтримки фотосинтетичної активності без надмірних енергетичних витрат.

Що стосується губчастої паренхіми, то її максимальна товщина виявлена в другому варіанті досліджень і становить  $74,44 \pm 8,60$  мкм, а мінімальна – лише  $47,34 \pm 1,37$  мкм у третьому варіанті.

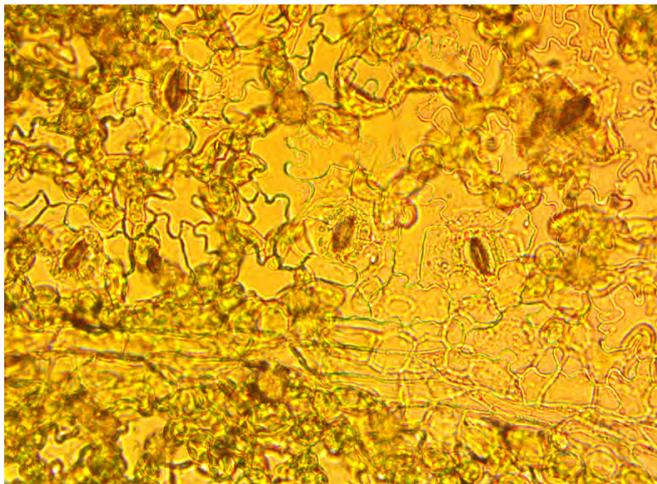
Отже, співвідношення товщини стовпчастої та губчастої паренхім демонструє комплексну анатомічну перебудову листка в умовах стресу: одночасне потовщення обох шарів забезпечує не лише розширення фотосинтетичної площі, а також накопичення запасу вологи. Ця ксероморфна дія створює ефективний баланс між потребою в інтенсивному фотосинтезі та захистом тканин від гідротичного і хімічного стресу. Водночас тонша паренхіма в третьому варіанті свідчить про гнучкість метаболічних механізмів, які дозволяють рослині змінювати структуру мезофілу відповідно до поточних умов.

Товщина верхнього епідермісу в досліджених листках *Corylus colurna* L. вказувала на чітку залежність від умов зростання й варіювала в межах від 12,16 мкм у четвертому варіанті до 16,25 мкм у розміщеному близько біля дороги другому варіанті. У першому варіанті середнє значення цього параметра становило 13,05 мкм, а в третьому варіанті – 12,96 мкм, що свідчить про відносно невелику пластичність епідермісу в зонах з мінімальним техногенним навантаженням.

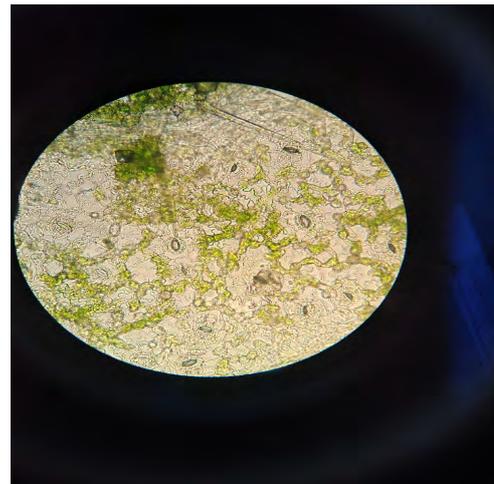
Значне ж потовщення верхнього епідермісу в другому варіанті можна пояснити підвищеним механічним і хімічним стресом у безпосередній близькості до ділянки з інтенсивним рухом транспорту: збільшена товщина клітинного шару забезпечує надійніший бар'єр від пилу, важких металів і високих температур, а також знижує швидкість випаровування води.

Нижній епідерміс виявився не менш чутливим до зовнішніх факторів: його товщина зростала від 9,20 мкм у першому варіанті до 15,92 мкм у другому варіанті. У третьому і четвертому варіантах цей показник становив 11,20 і 10,39 мкм відповідно.

Потовщення нижнього епідермісу в придорожньому другому варіанті може бути компенсаторною реакцією на підвищений гострий відтік води через продихи та посилений газообмін, адже зміцнений епідермальний шар знижує ризик осмотичного стресу в клітинах мезофілу (рис. 1, 2, 3, 4).

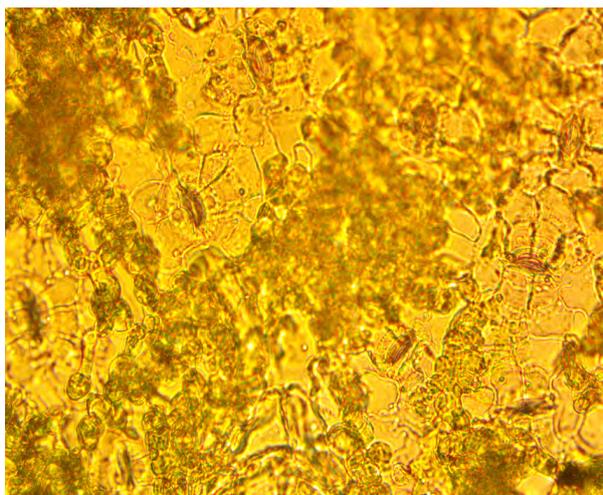


а



б

Рис. 1. Нижній епідерміс листка *Corylus colurna* L. (перший варіант), 2023: а – фото за допомогою мікроскопа; б – фото зроблене цифровою камерою.

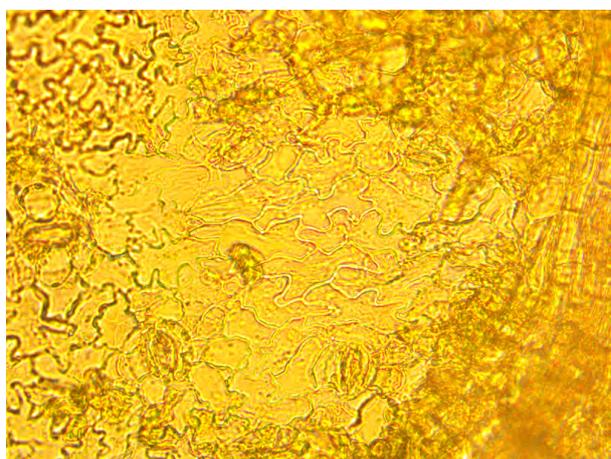


а

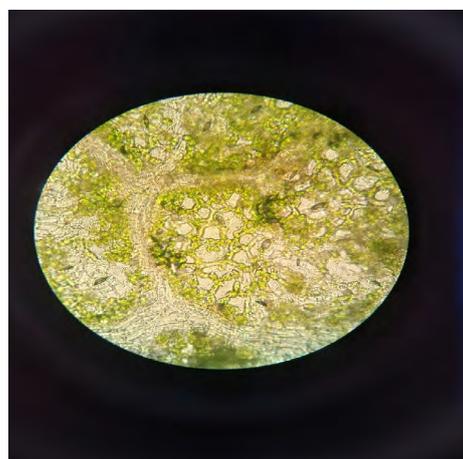


б

Рис. 2. Нижній епідерміс листка *Corylus colurna* L. (другий варіант), 2023:  
а – фото за допомогою мікроскопа; б – фото зроблене цифровою камерою.

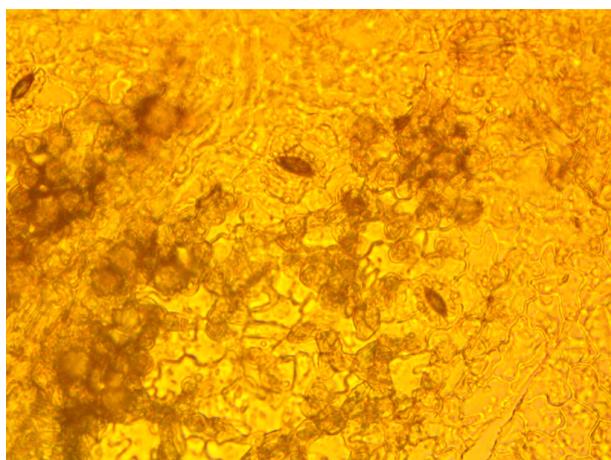


а

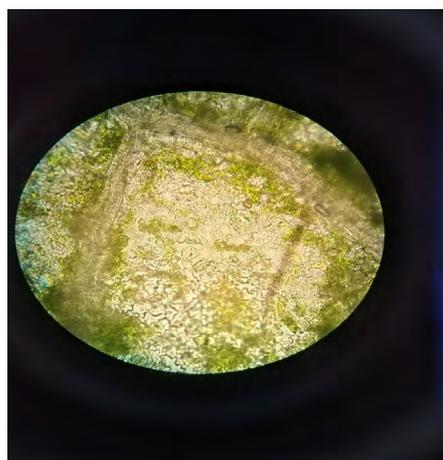


б

Рис. 3. Нижній епідерміс листка *Corylus colurna* L. (третій варіант), 2023:  
а – фото за допомогою мікроскопа; б – фото зроблене цифровою камерою.



а



б

Рис. 4. Нижній епідерміс листка *Corylus colurna* L. (четвертий варіант), 2023:  
а – фото за допомогою мікроскопа; б – фото зроблене цифровою камерою.

Кутикула виявилася найтоншою в другому варіанті – 3,94 мкм, тимчасом у четвертому варіанті встановлена її максимальна товщина – 5,43 мкм. У першому і третьому варіантах середні значення цього параметра становили 4,19 та 4,07 мкм відповідно. Потовщена кутикула у варіанті досліду у зоні інтенсивного екологічного навантаження свідчить про руйнування воскових речовин пилом і газовими викидами, що знижує її здатність виконувати захисні функції. Натомість у зонах з мінімальним техногенним впливом кутикула формується повноцінно і слугує ефективним бар'єром від втрати вологи та проникнення забруднень.

Загальна товщина листка, яка включає обидва шари епідермісу, клітини кутикули та мезофілу, демонструвала виражену тенденцію до збільшення у варіантах з інтенсивним забрудненням: від 146,91 мкм у першому варіанті до 156,31 мкм у другому варіанті. У третьому та четвертому варіантах, товщина знижувалася до 136,69 і 130,11 мкм відповідно. Така динаміка відображає загальну анатомічну зміну – активне потовщення стовпчастої та губчастої паренхіми у поєднанні зі змінами епідермальних шарів, що забезпечує баланс між фотосинтетичною ефективністю, запасом вологи і захистом від зовнішніх стрес-факторів.

Довжина листка варіювала від 12,8 см у першому варіанті до 14,7 см у четвертому варіанті досліду, причому найбільша відмінність вказує, що за умов підвищеного екологічного навантаження листки ростуть дещо коротшими. Ширина листків у процесі досліджень залишалася досить сталою: 11,4–13,4 см, що свідчить про обмежену пластичність цього параметра навіть за різних екологічних умов зростання (табл. 3).

Визначена довжина черешка була в межах від 3,4 см в четвертому варіанті до 3,9 см

в першому варіанті. Подовжений черешок у першому варіанті може вказувати на адаптацію до меншої інтенсивності освітлення, тимчасом укорочений черешок листка ліщини горіхової у четвертому варіанті зберігає оптимальне розташування пластинки.

Площа листкової пластинки була найменшою в першому варіанті – 145,9 см<sup>2</sup> і найбільшою в четвертому – 196,9 см<sup>2</sup>. Різниця площ вказує на те, що хоча загальна морфометрія листка лишається відносно сталою, у певних варіантах досліду *Corylus colurna* L. здатна за оптимальних умов нарощувати більшу загальну поверхню. Загалом морфометричні характеристики листка ліщини горіхової демонструють надзвичайно низький рівень варіабельності навіть за різних екологічних умов.

Така морфометрична стійкість вказує на те, що листки зберігають кути нахилу та пропорції, необхідні для рівномірного поглинання сонячного випромінювання, а сталі розміри зменшують енергетичні та ресурсні витрати на формування листкової пластинки, що особливо важливо в умовах дефіциту вологи і поживних речовин в умовах міста.

**Висновки.** Під дією урбо-техногенних факторів листки *Corylus colurna* L. в умовах насаджень демонструють анатомічні зміни, зокрема збільшення щільності продихів на 1 мм<sup>2</sup> до 194,14 шт./мм<sup>2</sup> в охоронній зоні парку «Софіївка» та підвищення продихового індексу до 8,49 %. Ці зміни вказують на активацію системи транспірації та газообміну як адаптивну реакцію на дефіцит води й підвищене забруднення повітря.

Загальна товщина листків збільшується в зоні екологічного навантаження переважно через потовщення стовпчастої до 45,22 мкм і губчастої паренхіми до 74,44 мкм. Таке подовження сприяє оптимізації фотосинтетичного потенціалу, стійкості рослин та накопиченню води в тканинах.

Таблиця 3 – Розміри листків *Corylus colurna* L. за різних умов вирощування, (2022–2025 рр.)

Варіант досліду	Довжина листка, см	Ширина листка, см	Довжина черешка, см	Площа листкової пластинки, см <sup>2</sup>
1	12,8	11,4	3,9	145,9
2	13,2	13,1	3,8	172,9
3	14,3	13,1	3,5	187,3
4	14,7	13,4	3,4	196,9
<i>НІР</i> <sub>05</sub>	1,2	1,0	0,4	3,6

У зоні інтенсивного руху автотранспорту кутикула була більш тонкою – 3,94 мкм порівняно з 5,43 мкм у внутрішній частині парку, що, ймовірно, свідчить про техногенне руйнування воскового шару під впливом пилу й газових викидів. Тонша кутикула підсилює потребу в компенсаторних адаптаціях епідермісу, насамперед у потовщенні верхнього й нижнього епідермальних шарів. Морфометричні параметри листка – довжина (12,8–14,7 см), ширина (11,4–13,4 см), довжина черешка (3,4–3,9 см) та площа листової пластинки (145,9–196,9 см<sup>2</sup>) – залишаються відносно сталими незалежно від умов зростання. Стабільність загальних розмірів листка вказує на високий рівень стійкості і витривалості цих представників роду *Corylus* L. до урбо-техногенних викликів.

Отримані результати підтверджують високий адаптивний потенціал ліщини горіхової та її придатність для впровадження в озеленення урбанізованих територій Правобережного Лісостепу України та безпосередньо урбанізованого середовища міста Умань, де ліщина горіхова здатна зберігати функціональну ефективність за підвищеного техногенного навантаження.

#### REFERENCES

- Bessonova, V.P. (2006). Practicum in Plant Physiology. Dnipropetrovsk, VVDDAU, 316 p.
- Vasilevska, V.K. (1954). Leaf Formation in Drought-Resistant Plants. Ashgabat: Publishing House of the Academy of Sciences of the Turkmen. 184 p.
- Gerbut, O.V. (2008). Biological Characteristics of Ornamental Tree Species Used in the Greening of Uman. Scientific Bulletin of the National Lviv Forestry and Wood Technology University. no. 18(1), pp. 22–27.
- Ilkun, G.M. (1978). Atmospheric Pollutants and Plants. Kyiv, Scientific opinion, 247 p.
- Kosenko, I.S. (1999). Phylogeny of the Genus *Corylus* (*Corylus* L.). Plant Introduction. Uman, no. 2, pp. 68–72.
- Kolchanova, O.V., Los, S.A., Khalimon, Ye.V., Bilyk, O.M. (2015). Turkish Hazel in the Parks of Poltava Region. Plant Introduction, Conservation and Enrichment in Botanical Gardens and Dendroparks: Proceedings of the International Scientific Conference. Kyiv, pp. 120–121.
- Krohmal, I.I., Pugachova, A.Yu. (2010). Anatomical Features of Leaf Structure of *Hemerocallis* L. Species under Introduction Conditions in Southeastern Ukraine. Problems of Ecology and Environmental Protection of a Technogenic Region. no. 1(10), pp. 62–73.
- Kucheryavy, V.P., Dudin, R.B., Kovalchuk, N.P., Pilat, O.S. (2004). Trees, Shrubs, and Lianas in Landscape Architecture. Lviv, Kvant, 138 p.
- Lozinska, T.P. (2021). *Corylus colurna* L. Features of Cultivation, Breeding, and Utilization. BNAU Repository. Available at: <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/5672>
- Ovrutska, I.I. (2012). Anatomical and Morphological Characteristics of *Sium latifolium* L. Leaves under Different Growth Conditions. Ukrainian Botanical Journal. no. 69(1), pp. 125–133.
- Sytnik, I.Y., Kolchanova, O.V., Los, S.A. (2018). Growth and Development of Turkish Hazel (*Corylus colurna* L.) in Green Zone Plantings of V.V. Dokuchaev KhNAU. Forestry and Agroforestry Reclamation. no. 132, pp. 66–72.
- Srivastava, L.M. (2002). Plant growth and development. Hormones and the environment. Elsevier. Oxford, Academic Press, Amsterdam, 772 p.
- Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W., Paulßen, D. (1991). Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica 18. Göttingen.
- Ennajen, M., Vadel, A.M., Cochard, H., Khemira, H. (2010). Comparative Impacts of Water Stress on the Leaf Anatomy of a Drought-Resistant and a Drought-Sensitive Olive Cultivar. Journal of Horticultural Science & Biotechnology. no. 85(4), pp. 289–294.
- Prigioniero, A. (2023). Leaf Surface Functional Traits Influence Particulate Matter and PAH Air Pollution Mitigation: Insights from Mediterranean Urban Forests. Journal of Cleaner Production. no. 418, 138158. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.138158
- Lüttge, U., Buckeridge, M. (2020). Trees: Structure and Function and the Challenges of Urbanization. Trees. no. 37, pp. 9–16. DOI: 10.1007/s00468-020-01964-1
- Wróblewska, K., Jeong, B.R. (2021). Effectiveness of Plants and Green Infrastructure Utilization in Ambient Particulate Matter Removal. Environmental Sciences Europe. no. 33, 110 p. DOI: 10.1186/s12302-021-00547-2
- Pal, S.L. (2019). Role of plant growth regulators in floriculture : An overview. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. no. 8(3), pp. 789–796.
- Retounard, D. (2005). Rozmnażanie 250 roślin przez sadzonki. Warszawa, «Wydawca Delta», 320 p.

#### Anatomical changes in the leaves of *Corylus* L. species as an adaptation indicator to different ecological growth conditions

Balabak O., Zaluzniak A.

The article examines the anatomical changes in leaves of Turkish hazel (*Corylus colurna* L.) as an adaptation indicator to varying degrees of urban-technogenic stress in the urbanized environment of the city of Uman. Four growth conditions of nut-bearing plants were studied: a roadside area with heavy traffic, the protected zone of Sofiyivka Park, the administrative zone of the park, and the internal part of the park. Quantitative parameters of the respiratory apparatus in all experimental variants were obtained by studying epidermal imprints, while the thickness

of the epidermis, mesophyll, and cuticle was measured using microscopic sections. Leaf morphometry included assessments of length, width, petiole length, and leaf blade area. Comparative analysis of anatomical parameters has shown that the leaves of Turkish hazel growing along the roads with heavy traffic demonstrated a number of distinct adaptive changes. First of all, they have an increased number of stomata, while at the same time their size decreases, which allows for more precise regulation of transpiration under conditions of increased dust and heat stress. The mesophyll in such leaves thickens evenly in both layers: the palisade parenchyma expands the photosynthetic surface, while the lacunose parenchyma increases the capacity of intercellular spaces for storing water and gases. This allows the maintaining of high photosynthetic productivity even under moisture deficit. At the same time, the upper and lower epidermal layers are compacted, forming a reliable barrier against mechanical and chemical stress. However, the

cuticle layer is reduced due to the destructive effects of gas emissions. Despite all these changes, the external shape and overall dimensions of the leaf remain almost unchanged, indicating their morphological stability even under urban stress conditions.

The data obtained confirm that complex changes in mesophyll cells, in particular thickening of the parenchyma and epidermis with a simultaneous reduction in the cuticle, have been established in the experimental samples of *Corylus colurna* L. which significantly contributes to the preservation of effective gas exchange, photosynthetic potential, and water retention capacity of leaves in an urban environment. The results indicate the feasibility of using Turkish hazel in the landscaping of urban areas in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine to support sustainable plantings against urban stress factors.

**Key words:** *Corylus colurna* L., respiratory density, parenchyma, cuticle, epidermis, urban technogenic stress, xeromorphic adaptations.



Copyright: Балабак О.А., Залізняк А.М. © 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:

Балабак О.А.

Залізняк А.М.

<https://orcid.org/0000-0002-7435-9783>

<https://orcid.org/0009-0003-5832-9896>