

УДК 581.8+581.45

**ПОКАЗНИКИ АНАТОМІЧНОЇ СТРУКТУРИ ЛИСТКІВ ДУБА ЧЕРВОНОГО
(*QUERCUS RUBRA* L.) В УРБОТЕХНОГЕННИХ УМОВАХ**

А. Криворучко, В. Бессонова

*Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет
вул. С. Єфремова, 25, Дніпро 49600, Україна
e-mail: uspeshna18@gmail.com*

Досліджено вплив урботехногенних умов на показники анатомічної структури листків дуба червоного (*Quercus rubra* L.). Об'єктом дослідження слугували дерева *Q. rubra*, що зростають в умовно чистій зоні – ботанічному саду Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара (ділянка 1) та у вуличному насадженні біля автотраси з інтенсивним автомобільним рухом (ділянка 2) у м. Дніпро. Встановлено, що гістологічні параметри листка *Q. rubra* в умовах забруднення довкілля змінюються у бік ксероморфності, а саме: потовщення кутикули й адаксіальної епідерми, збільшення товщини стовпчастого і зменшення товщини губчастого мезофілу, зростання коефіцієнта палісадності, збільшення кількості продихів на одиницю поверхні епідерми. Кількість епідермальних клітин на 1 мм² поверхні листка збільшується у рослин вуличного насадження порівняно з рослинами умовно чистої зони. Ступінь відкритості продихів більша у рослин, що зростають на ділянці 1. У листках рослин ділянки 2 зменшується як довжина, так і ширина замикальних клітин продиху в середньому на 20 %. Зміни деяких показників анатомічної структури листків у бік ксероморфності в урботехногенних умовах можна розглядати як адаптивну реакцію рослин на забруднення довкілля.

Ключові слова: придорожнє насадження, дуб червоний, листок, епідерма, мезофіл, продихи

У різних екологічних дослідженнях широко використовують кількісно-анатомічні методи [9, 14, 21, 32, 37, 41]. Оскільки структура органів відображає результат впливу факторів середовища на рослини, то за відповідними реакціями кількісних змін параметрів гістологічних елементів можна судити про силу і значення тих чи інших чинників, а також про ступінь реагування рослини на їхній вплив [1, 17, 24, 35, 43, 44]. Особливого значення набувають анатомічні дослідження в інтродукції рослин для виявлення шляхів пристосувальних реакцій рослин до різних екологічних умов [5, 12, 23, 29, 30]. В останні роки привертає увагу такий інтродуцент як дуб червоний (*Quercus rubra* L.), котрий характеризується високими декоративними якостями. Проте дерева цього виду ще дуже обмежено використовуються в озелененні міст південного сходу України. Для ширшого впровадження цього виду в зелене будівництво необхідне всебічне дослідження відповідних морфо-анатомічних реакцій на вплив урботехногенних чинників.

У першу чергу заслуговують на увагу дослідження анатомічної будови листків, яка впливає на перебіг таких фізіологічних процесів як фотосинтез, дихання, водний обмін, а також спрямованість процесів метаболізму. На думку В.К. Василевської [6], адаптивна значущість анатомічних ознак листків не завжди є однозначною і явною, проте вони дають змогу оцінити і зрозуміти шляхи пристосування до певних умов життя. Таких же поглядів дотримується і П.С. Гнатів [9] на підставі досліджень анатомічної будови листків деяких

деревних рослин у міському середовищі. В урботехногенних умовах листки рослин відіграють важливу роль в осадженні пилу і поглинанні токсичних промислових газів [4, 8, 25, 34, 38, 40, 42, 45], тому важливо визначити ступінь і характер їхнього впливу на анатомічні зміни цього органа.

Мета даного дослідження – проаналізувати вплив урботехногенних умов середовища на показники анатомічної структури листків дуба червоного.

Матеріали та методи

Об'єктом дослідження слугували дерева *Q. rubra*, що зростали в умовно чистій зоні – ботанічному саду Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара (ділянка 1), що лежить на відстані близько 10 км від промислових підприємств міста, та біля автотраси з інтенсивністю автомобільного руху 49,4 тис. авто за добу (ділянка 2) – вулиця Набережна Січеславська (Набережна Леніна) м. Дніпро. Ця ділянка залучена до групи сильно забруднених вулиць, на яких інтенсивність руху від 2600 до 3400 авто за годину [27]. Крім впливу викидів автомобільного транспорту, на рослини дослідної ділянки 2 діють інгредієнти промислових викидів Західного, Північно-східного та Північно-західного промислових комплексів [22] при відповідному напрямку вітру. Відстань від них становить 4,5 км, 2,7–4,4 та 2,9–3,8 км відповідно. Моніторингова точка лежить у пониженій частині міста (56,8 м над рівнем моря), що викликає накопичення забруднюючих речовин [26] і підвищення концентрації газоподібних викидів (SO_2 , NO_x тощо). Індекс забруднення в цьому районі становить від 7 до 11 одиниць, тобто високий [10].

Для аналізу відбирали максимально розвинені листки в середній частині пагонів, що закінчили ріст, з південно-східного боку крони на висоті 2,5 м. Використовували фрагменти листка з його середньої частини. Поперечні зрізи листків робили за допомогою ручного мікротому, виготовленого згідно з описом [16]. Розміри тканин і клітин визначали під мікроскопом Біомед-4 з використанням окуляр-мікрометра. Середні значення показників виводили з 25–40 вимірів. Щільність розташування продихів і їхні розміри обчислювали на відбитках, отриманих за методом Г.Х. Молотковського [3]. Для вивчення форми клітин епідермісу виготовляли тимчасові препарати. Послідовність вивчення здійснювали згідно з методикою анатомічних досліджень В.Г. Ніколаєвського [19]. Фотографування виконували фотокамерою Digital Camera for Microscope DCM-130.

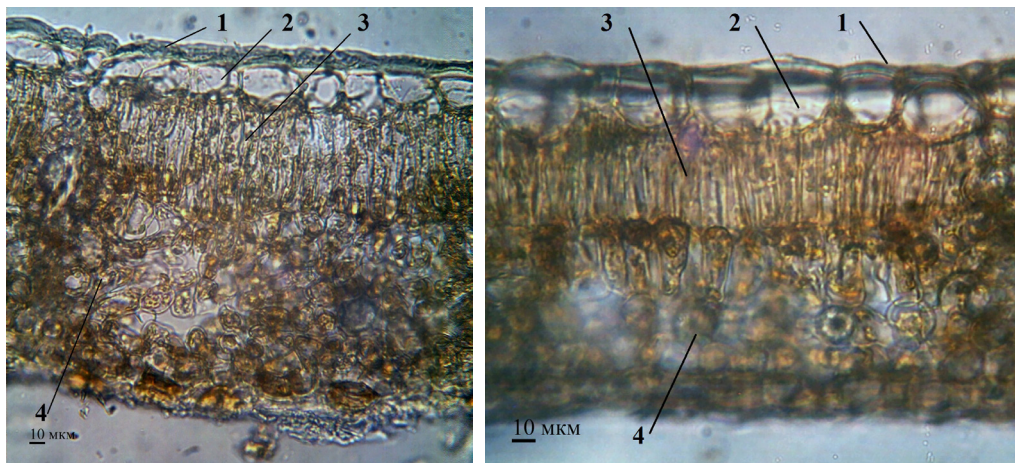
Продихово-епідермальний індекс розраховували за формулою $\frac{K_n \cdot 100}{K_e + K_n}$, де K_n – кількість продихів на 1 мм² поверхні листка, K_e – кількість епідермальних клітин [35]. Індекс ксероморфності розраховували за формулою $I_{xr} = \frac{N_e + N_n}{100} \%$, де N_e – щільність епідермальних клітин, шт./мм²; N_n – щільність продихів, шт./мм² [11, 46]. Коефіцієнт палісадності обчислювали як відношення товщини палісадного мезофілу листка до загальної товщини листка і виражали у відсотках. Результати обробляли статистично у програмі Microsoft Excel 2010. Розраховували помилку середнього арифметичного, обчислювали критерій достовірності відмінностей між показниками варіантів (t-test). За контроль прийнято показники з ділянки 1.

Результати і їхнє обговорення

За диференціацією мезофілу листок *Q. rubra* належить до дорзивентрального типу. Його товщина становить на ділянці 1 – 162,5 мкм, на ділянці 2 – 166,0 мкм, умови зростання фактично не впливають на значення цього показника (табл. 4). Пластинка листка, за класифікацією Б.Р. Васильєва [7], тонка у рослин обох варіантів.

З питання впливу урботехногенних умов на товщину листової пластинки у літературі опубліковано дані про різноспрямовані тенденції змін цього показника. Так, за результатами С.О. Сергейчик [25], у стійкого до забруднення виду – дикого винограду п'ятилисточкового (*Parthenocissus quinquefolia* Planch.) спостерігається потовщення листка, у чутливого виду – жимолості татарської (*Lonicera tatarica* L.) – зменшення. Збільшення товщини листка платана східного (*Platanus orientalis* L.) в умовах забруднення довкілля інгредієнтами промислових викидів відмічають Н.В. Капелюш і В.П. Бессонова [15].

Листок дуба червоного вкритий кутикулою, яка товстіша у рослин забрудненої ділянки (рис. 1), що має значення для захисту від проникнення в тканини листків шкідливих газів і запобігає надмірному випаровуванню води. Характерно, що збільшення товщини кутикули в умовах високого рівня забруднення міського середовища виявлено у листків липи сердцелистої (*Tilia cordata* Mill.), але у робінії звичайної (*Robinia pseudoacacia* L.) спостерігається її потоншення [18]. У плані клітини епідерми адаксіальної поверхні листка різної форми: трапецієподібні, прямокутні та ін. (рис. 2). Клітинні стінки епідерми абаксіальної поверхні листка – звивисті (за шкалою С.Ф. Захаревича [13]). Форма епідермальних клітин верхньої та нижньої поверхні листка на ділянці 1 не відрізняється від таких на ділянці 2.



I

II

Рис. 1. Поперечний зріз листової пластинки *Q. rubra*: I – ділянка 1; II – ділянка 2; 1 – кутикула; 2 – епідерма; 3 – палисадна паренхіма; 4 – губчаста паренхіма

На нижньому боці листка рослин на обох ділянках рідко трапляються трихоми у вигляді двоклітинних загострених волосків і у вигляді пучечків.

На поперечному зрізі листка – клітини епідерми табличчастої форми, більші на адаксіальному боці листка (рис. 1, табл. 1). Вони довші у рослин, що зростають в умовах забруднення, на 29,9 % і ширші на 12,06 % порівняно з умовно чистою зоною. Проте розміри клітин епідерми на абаксіальному боці в обох варіантах статистично не відрізняються (табл. 1).

Продихи розміщені лише на одній поверхні листка – на нижній, тобто листок гіпостомний. За особливостями будови сформовані продихи належать до аномоцитного типу. Це – безладноклітинний тип, навколопродихових клітин немає [31]. Згідно з визначенням інших дослідників, цей тип характеризується відсутністю будь-якої організації клітин, що прилягають до продихів [2, 39].

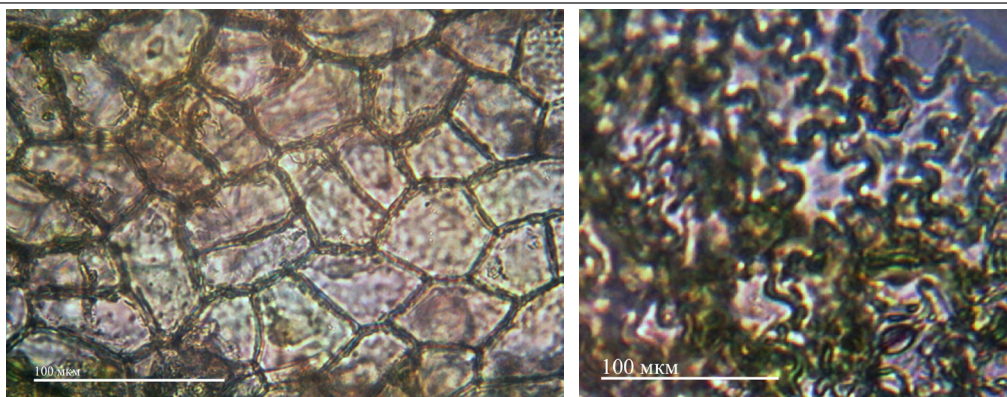


Рис. 2. Епідерма адаксіального (I) й абаксіального (II) боків листка *Q. rubra* (ділянка 1)

Таблиця 1

Показники клітин епідерми листка *Q. rubra*, мкм ($M \pm m$)

Варіант	Товщина кутикули	Висота клітин епідерми		Ширина клітин епідерми	
		адаксіальної	абаксіальної	адаксіальної	абаксіальної
Ділянка 1	4,20±0,12*	15,20±0,30*	13,02±0,51	24,80±0,34*	14,62±0,36
Ділянка 2	7,25±0,21	19,74±0,42	12,10±0,46	21,81±0,50	15,45±0,50

Примітки: * – різниця між варіантами статистично достовірна за $P \leq 0,05$; $n=30$

Щільність продихів становить для ділянки 1 – 312,85 шт./мм², для ділянки 2 – 389,21 шт./мм² (табл. 2), що за класифікацією Б.Р. Васильєва [7] оцінюється як дуже багато.

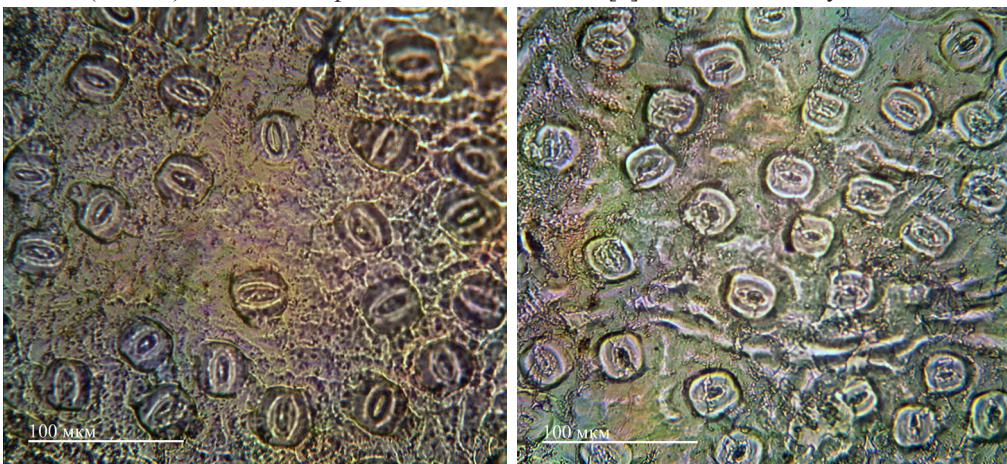


Рис. 3. Продихи на абаксіальній поверхні листової пластинки *Q. rubra*: I – ділянка 1; II – ділянка 2

Продихи епідерми листків рослин із ділянки 2 розташовані щільніше, ніж у рослин з умовно чистої зони (на 26,32 %). Раніше було виявлено також більш високу щільність продихів на одиницю поверхні епідерми у газонних трав [20] та у *Ricinus communis* L. [47] за умов забруднення повітря. Відомо, що збільшення щільності продихів і зменшення їхніх розмірів в умовах дії на рослини токсичних газів є рисами зміни будови листка у бік ксероморфної структури [20].

Щільність продихів – це саме та ознака епідерми, яка визначає швидкість газообміну і більш високий темп провідності речовин. Вважається, що ці процеси залежать більшою мірою саме від цього показника, а не від збільшення довжини продихів [33, 48]. На думку деяких дослідників, велика кількість дрібних продихів максималізує дифузію CO₂ в листки для фотосинтезу без великих втрат вологи [33, 36]. В.С. Ніколаєвський [20] вважає, що у видів із більшою кількістю дрібних продихів на одиницю поверхні краще регулюється ступінь їхньої відкритості.

Ступінь відкритості продихів у *Q. rubra* більший у рослин із ділянки 1, ніж із ділянки 2. Менша відкритість продихів дає певні переваги рослинам за дії на них техногенних емісій, оскільки встановлено [20, 25], що надходження газів у тканини листків здійснюється переважно через продихи.

Забруднення довкілля впливає на кількість епідермальних клітин на 1 мм² поверхні. Цей показник зростає на ділянці 2 щодо ділянки 1 на 10,24 % (табл. 2).

Таблиця 2

Щільність клітин епідерми листка та продиховий індекс *Q. rubra* (M±m)

Варіант	Щільність продихів шт./мм ²	Кількість клітин епідерми, шт./мм ²	Продиховий індекс
Ділянка № 1	310,85±14,30*	925,21±10,15*	25,15
Ділянка № 2	398,21±14,30	1020,00±14,21	28,08

Примітки: * – різниця між варіантами статистично достовірна за P≤0,05; n=25

Проте розрахунки продихового індексу свідчать про деяке його підвищення в умовах забруднення довкілля (табл. 3). В обох варіантах цей показник, за Васильєвим [7], можна охарактеризувати як дуже великий.

Таблиця 3

Характеристики продихів на нижній епідермі листка *Q. rubra* (M±m)

Варіант	Довжина замикальних клітин продихів, мкм	Ширина замикальних клітин продихів, мкм	Відкритість продихів, мкм	Індекс ксероморфності
Ділянка № 1	27,21±0,31*	15,16±0,23*	7,21±0,21*	12,36
Ділянка № 2	22,14±0,35	12,27±0,28	4,00±0,18	14,18

Примітки: * – різниця між варіантами статистично достовірна за P≤0,05; n=30

Зі збільшенням кількості продихів на одиницю площі епідерми листків рослин з ділянки 2 зменшується як довжина, так і ширина замикальних клітин у середньому на 20 % (табл. 3).

Листок *Q. rubra* має чітко виражену диференціацію мезофілу на палісадну і губчасту тканини (рис. 1). Клітини палісадної паренхіми подовжені, щільно зімкнені. Висота цього шару на 20,49 % більша, ніж у рослин із ділянки 1 (табл. 4). Майже на таку ж величину клітини вужчі. Число рядів стовпчастих клітин змінюється від 1 до 2, середня їхня кількість в умовно чистій зоні (ділянка 1) – 1,52, у придорожній (ділянка 2) – 2,0. Верхній ряд стовпчастої паренхіми представлений більш довгими клітинами, другий ряд складається з більш коротких клітин (табл. 4).

Відношення довжини палісадних клітин до їхньої ширини у листків дерев з ділянки 2 зростає порівняно з ділянкою 1 на 44,52 %.

Губчастий мезофіл складається з 3–4 рядів пухко розташованих клітин із міжклітинниками (рис. 1). Розміри клітин губчастої паренхіми з ділянки 1 та ділянки 2 статистично не відрізняються. Шар губчастої паренхіми трохи вужчий у останньому варіанті, має менші міжклітинники (табл. 4).

Таблиця 4

Показники мезофілу листка *Q. rubra* (M ± m)

Показник, мкм	Ділянка № 1	Ділянка № 2
Стовпчаста паренхіма, мкм	62,20±0,33	74,92±0,48*
Губчаста паренхіма, мкм	72,10±1,12	59,24±1,22*
Клітини стовпчастої паренхіми (довжина), мкм		
1-й ряд	37,10±0,72	42,21±0,51*
2-й ряд	25,12±0,80	32,14±1,17*
Клітини стовпчастої паренхіми (менший діаметр), мкм	11,16±0,21	9,30±0,19*
Клітини губчастої паренхіми (довжина×ширина) мкм	18,12×15,22	17,31×16,74
Відношення довжини клітин стовпчастої паренхіми до їхнього меншого діаметра	5,57	8,05
Розміри міжклітинників, мкм	15,32×12,63	12,41×9,75
Коефіцієнт палісадності	38,27	45,13
Товщина листка, мкм	162,5±1,52	166,0±1,64

Примітки: * – різниця між варіантами статистично достовірна за $P \leq 0,05$; $n=30$

Згідно з результатами, отриманими В.О. Стасенко та ін. [28], високий рівень забруднення викликає потоншення губчастої та стовпчастої паренхіми у робінії звичайної (*Robinia pseudoacacia* L.). Іншими авторами виявлено, що при слабкому рівні забруднення промисловими викидами товщина мезофілу збільшується за рахунок стовпчастого мезофілу, а при середньому і високому рівні забруднення – зменшується за рахунок губчастої та стовпчастої тканин відповідно [18]. За нашими даними, забруднення довкілля викликає потовщення стовпчастої паренхіми у *Q. rubra* і зменшення шару губчастої паренхіми, що є показником змін структури листка у бік ксероморфності. П.С. Гнатів [9], досліджуючи характеристики цих частин мезофілу листків акації білої (*Robinia pseudoacacia* L.), ясена звичайного (*Fraxinus excelsior* L.) та гіркокаштану звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.) у міському середовищі, встановив подібні тенденції змін структури листка до ксероморфності.

Значення коефіцієнта палісадності більша у листків рослин, що зростають на ділянці 2 (табл. 4). Цей показник у листків із ділянки 1, за шкалою Б.Р. Васильєва [7], низький, із ділянки 2 – середній. Коефіцієнт палісадності вказує на ступінь мезоморфності листка. Отже, збільшення його значення свідчить, що в умовах забруднення довкілля зростає ступінь ксероморфності. Це підтверджує розрахунок індексу ксероморфності, який вищий у рослин придорожньої зони (табл. 3).

Таким чином, аналіз кількісних параметрів гістологічної структури листка *Q. rubra* в умовах забруднення довкілля свідчить про те, що ціла низка показників змінюється у бік ксероморфності, а саме: потовщення кутикули й адаксіальної епідерми, збільшення товщини стовпчастого і зменшення товщини губчастого мезофілу, зростання коефіцієнта палісадності, збільшення кількості продохів на одиницю поверхні епідерми. Ступінь відкритості продохів більший у рослин із умовно чистої зони. Хоча вплив забруднення довкілля на деякі показники структурних елементів листка *Q. rubra*, загалом, не дуже великий, проте у комплексі вони можуть відіграти суттєву роль у пристосуванні рослин до урботехногенного забруднення і підвищення їхнього адаптивного потенціалу за цих умов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Александров В. Г. Анатомия растений. М.: Высшая школа, 1966. 429 с.
2. Баранова М.А. Классификация морфологических типов устьиц // Ботан. журнал. 1985. Т. 70. № 12. С. 1585–1594.
3. Бессонова В. П. Практикум з фізіології рослин. Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2006. 316 с.

4. Бессонова В. П. Эффективность осаждения пылевых частиц листьями древесных и кустарниковых растений // Вопросы защиты природной среды и охрана труда в промышленности: сб. науч. трудов. Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1993. С. 34–37.
5. Бойко Л. І. Особливості листка *Pittosporum tobiza* (*Pittosporaceae*) за різних умов вирощування // Укр. ботан. журнал. 2016. Т. 73. № 6. С. 593–599.
6. Василевская В. К. Формирование листа засухоустойчивых растений. Ашхабад: Изд-во АН Туркменской ССР, 1954. 184 с.
7. Васильев Б. Р. Строение листа древесных растений различных климатических зон / под ред. В.М. Шмидта. Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. 208 с.
8. Гетко Н. В. Растения в техногенной среде. Минск: Наука и техника, 1989. 208 с.
9. Гнатів П. С. Гіркокаштан звичайний у Львові і питання його екологічної стійкості в міських насадженнях // Наукові записки Державного Природничого музею. 2007. Вип. 23. С. 75–84.
10. Доценко Л. В., Демиденко А. А. Порівняльний аналіз методів визначення рівня забруднення атмосферного повітря // Екологічна безпека. 2014. № 2 (18). С. 71–78.
11. Жалдак С. Н. Взаимодействие в сообществах однолетних галофитов и их влияние на анатомо-морфологические структуры растений // Питання біоіндикації та екології. 2000. Вип. 5. № 3. С. 17–20.
12. Зайцев Б. В. Анатомо-морфологические особенности некоторых представителей элимоидных родов как материал для интродукции растений // Полезные растения природной флоры Сибири. Новосибирск: Наука, 1967. С. 71–77.
13. Захаревич С. Ф. К методике описания эпидермиса листа // Вестн. Ленинград. ун-та. 1954. № 4. С. 65–75.
14. Иванова Л. А., Пьянков В. И. Влияние экологических факторов на структурные показатели мезофила листа // Ботан. журнал. 2002. Т. 87 (12). С. 17–28.
15. Капельюш Н. В., Бессонова В. П. Зміна анатомічних показників листків *Platanus orientalis* L. під дією промислових емісій (техногенного навантаження) // Інтродукція рослин. 2005. № 1. С. 81–87.
16. Клейн Р. М., Клейн Д. Т. Методы исследования растений. М.: Колос, 1974. 527 с.
17. Крохмаль И. И. Функциональная анатомия и морфология листа *Campanula sibirica* L. // Экология и ноосферология. 2015. Вып. 26. № 1–2. С. 55–65.
18. Кучма В. М., Гришко В. М. Анатомічна будова листка липи серцелистої та робінії псевдоакації в різних екологічних умовах зростання // Питання біоіндикації та екології. Запоріжжя: ПВКФ «Павел», 1999. С. 22–27.
19. Николаевский В. Г. К методике количественно-анатомического изучения влияния внешней среды на структуру вегетативных органов высших растений // Ботан. журнал. 1964. Т. 49. № 6. С. 833–838.
20. Николаевский В. С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск: Наука, 1979. 208 с.
21. Овруцька І. І. Анатомо-морфологічні ознаки листків *Sium latifolium* L. у різних умовах зростання // Укр. ботан. журнал. 2012. Т. 69. № 1. С. 125–133.
22. Пасічний Г. В., Сердюк С. М. Динаміка важких металів в ґрунтовому покриві у зв'язку з техногенним забрудненням оточуючого середовища (на прикладі м. Дніпропетровська) // Екологія і природокористування. 2002. Вип. 4. С. 111–117.
23. Пленник Р. Я. Анатомический метод и теория интродукции растений // Нетрадиционные методы в исследованиях растительности Сибири. Новосибирск: Наука, 1982. С. 154–162.

24. Попова О. А. Анатомическое строение листа некоторых раннецветущих растений Восточного Забайкалья // Ученые записки ЗабГГПУ. 2013. № 1 (48). С. 37–45.
25. Сергейчик С. А. Устойчивость древесных растений в техногенной среде. Минск: Наука і техника, 1994. 279 с.
26. Сердюк С. М., Доценко Л. В. Наукове обґрунтування фітомеліоративних заходів в умовах високого автотранспортного навантаження // Питання степового лісознавства та степової рекультивациі земель. 2007. Вип. 11 (36). С. 192–200.
27. Сердюк С. М. Актуальні проблеми трансформації міського середовища в умовах високого автотранспортного навантаження (на прикладі м. Дніпропетровськ) // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті: зб. наук. праць. 2016. № 11. С. 101–108.
28. Стасенко В. А., Швиндлерман С. П. Анатомо-морфологические изменения *Robinia pseudoacacia* L. как показатель состояния окружающей природной среды // Вопросы биоиндикации и экологии. Запорожье: ЗГУ, 1997. Вып. 2. С. 97–102.
29. Тюрина Е. В. Значение анатомического метода для выяснения происхождения адаптационных и интродукционных возможностей растений // Нетрадиционные методы в исследованиях растительности Сибири. Новосибирск: Наука, 1982. С. 77–88.
30. Тюрина Е. В. Интродукция зонтичных в Сибири. Новосибирск: Наука, 1978. 239 с.
31. Эсау К. Анатомия растений. М.: Мир, 1969. 564 с.
32. Boyne R. L. Comparative leaf anatomy of invasive and noninvasive climbers under different light levels. Implication for ecophysiological performance and phenotypic plasticity // B. Sc. thesis, Queensland University of Technology. Brisbane, Australia, 2011.
33. Brodrigg T. J., Jordan G. J., Carpenter R. S. Unified changes in cells size permit coordinated leaf evolution // New Phytologist. 2013. Vol. 199. P. 559–570.
34. Gawronski S. W., Gawronska H., Lomnicki S. et al. Plants in Air Phytoremediation // Adv. Bot. Res. 2017. Vol. 83. P. 319–346.
35. Gupta B. Correlation of tissues in leaves II. Absolute stomatal numbers // Annals of Botany. 1961. Vol. 25. P. 71–77.
36. Holland N., Richardson A. D. Stomatal length correlation with elevation of growth in four temperate species // Journal of Sustainable Forestry. 2009. Vol. 28. P. 63–73.
37. Jusypiva T., Miasoid G. The impact of SO₂ and NO₂ industrial emission on anatomical stem of *Salix alba* // International letters of nature science. 2016. Vol. 51. P. 6–13.
38. Klingberg J., Broberg M., Strandberg B. et al. Influence of urban vegetation on air pollution and noise exposure – A case study in Gothenburg, Sweden // Sci. Total Environ. 2017. Vol. 599–600. P. 1728–1739.
39. Metcalfe C. R., Chalk L. Anatomy of the dicotyledons. London: Oxford Univ. Press., 1950. 1500 p.
40. Powe N. A., Willis K. G. Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO₂ and PM₁₀) absorption attributable to woodland in Britain // J. Environ. Manage. 2004. Vol. 70. P. 119–128.
41. Sack L., Cowan P. D., Jaikumar N. et al. The hydrology of leaves: coordination of structure and function in temperate woody species // Plant Cell Environ. 2003. Vol. 26. P. 1343–1356.
42. Shi J., Zhang G., An H. et al. Quantifying the particulate matter accumulation on leaf surfaces of urban plants in Beijing, China // Atmospheric Pollution Research. 2017. Vol. 8. P. 836–842.
43. Terashima I., Mayazawa S., Hanba Y. T. Why are sun leaves thiched then shade leaves? – Consideration based on analyses of CO₂ diffusion in the leaf // J. Plant Res. 2001. Vol. 114. P. 93–105.

44. Torre S., Fjeld T., Gislerrød H. R., Moe R. Leaf anatomy and stomatal morphology of greenhouse roses grown at moderate or high air humidity // J. Amer. Soc. Hort. Sci. 2003. Vol. 128 (4). P. 598–602.
45. Uni D., Kutra I. Airborne dust absorption by semi-arid forests reduces PM pollution in nearby urban environments // Sci. Total Environ. 2017. Vol. 598. P. 984–992.
46. Weissenböck V. G. Einfluß des Bodensalzgehaltes auf Morphologie und Ionenspeicherung von Halophyten // Flora. 1969. Bd. 158. P. 369–389.
47. Yunus M., Ahmad K. J., Gale R. Air pollutants and epidermal traits in *Ricinus communis* L. // Environ. Pollut. 1979. Vol. 20. N 3. P. 189–198.
48. Zhang S. B., Guan Z. S., Sun M. et al. Evolutionary association at stomatal trichomes with leaf vein density in *Paphiopedium* // Orchidaceae. 2012. Vol. 7. P. 1–10.

Стаття: надійшла до редакції 26.06.17

доопрацьована 13.09.17

прийнята до друку 15.09.17

PARAMETERS OF ANATOMICAL STRUCTURE OF RED OAK (*QUERCUS RUBRA* L.) LEAF IN URBANIZED CONDITIONS

A. Kryvoruchko, V. Bessonova

Dnipropetrovsk State University of Agriculture and Economics

25, Sergiy Efremov St., Dnipro 49600, Ukraine

e-mail: uspeshna18@gmail.com

The effect of urbanized conditions on the anatomical parameters of red oak (*Quercus rubra* L.) leaves was researched. The object of the study was a *Q. rubra* trees, which grow in non-polluted site – Botanical Garden of Oles Honchar Dnipro National University (site 1) and near the highway with heavy traffic (site 2) in Dnipro. It was established that the histological parameters of *Q. rubra* leaves under pollution conditions is changed toward xeromorphism – a thickening of the cuticle and adaxial epidermis, increasing the thickness of palisade and reducing the thickness of spongy mesophyll, increasing the palisade index and increasing the number of stomata per unit epidermis surface. Stomata of leaf epidermis on site 2 is located more densely than in plants of non-polluted site. Number of epidermal cells per 1 mm² of leaf surface increases in trees on site 2 relative to trees on site 1. The degree of openness of stomata in plants is greater on non-polluted site. The length and width of guard cells in the plants of site 2 is decreased by an average of 20 %. Changes in some parameters of leaves anatomical structure toward xeromorphism in urbanized conditions is considered as adaptive response of plants to environmental pollution.

Keywords: roadside planting, red oak, leaf, epidermis, mesophyll, stomata