Ukrainian Journal of Ecology

Ukrainian Journal of Ecology, 2018, 8(1), 64–71 doi: 10.15421/2017_188

ORIGINAL ARTICLE *UDC 581.8+581.45*

Anatomical leaves characteristics of *Quercus rubra* L. and *Quercus robur* L. and stand density

A.P. Kryvoruchko, V.P. Bessonova

Dnipropetrovsk State University of Agriculture and Economics
25, Sergiy Efremov St., Dnipro 49600, Ukraine
E-mail: uspeshna18@gmail.com
Submitted: 29.11.2017. Accepted: 17.01.2018

The influence of growing of *Quercus rubra* L. trees in the groups and solitary on leaf indices and their anatomical structure in comparison with indigenous species *Quercus robur* L. under the same conditions was investigated. The bigger area of leaves and their green weight in plants of both species growing in groups is revealed. Both *Q. rubra* and *Q. robur* leaf cuticle thickness is increasing with solitary growth, while in *Q. rubra* also increasing the height of the cells of the adaxial epidermis; in *Q. robur*, such changes have not been established. Under conditions of solitary growth of trees, the density of stomata per unit area of the epidermis is greater in both *Q. robur* and *Q. rubra*, relative to data from these plants growing in the groups by 30.6% in the first and by 25.3% in the second species. In single trees, there are a decrease in their size. For solitary landing, the length of cells of the palisade mesophyll is greater in the leaves of both tree species, but their width is reduced. The width of the palisade tissue of leaves in *Q. rubra* is greater in single trees than in groups of plants, while *Q. robur* has the same pattern, but the difference between the variants is greater (25.89%). Both spongy parenchyma of leaves of Q. rubra growing solitary and growing in groups has not difference in size, but in Q. robur there is some thickening of it by 10.16%. Indicators of the relation of the size of the palisade parenchyma to the spongy parenchyma in both species on the two sites are almost identical. In single trees of both species due to the greater shortage of air and soil moisture, some anatomic-morphological parameters change in the direction of xeromorphism, which can be considered as adaptive.
Key words: *Quercus rubra; Q. robur;* solitary plants; groups of plants; leaf; anatomical structure

Анатомічна характеристика листків *Quercus rubra* L. та *Quercus robur* L. за солітерного та групового зростання

А.П. Криворучко, В.П. Бессонова

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

Досліджено вплив зростання дерев *Quercus rubra* L. поодиноко та у групі на показники листків та їх анатомічної структури у порівнянні з показниками аборигенного виду *Quercus robur* L. за таких же умов. Виявлено більшу площу листків та їх сиру масу у рослин обох видів, що зростають групами. Як у *Q. rubra,* так і у *Q. robur* при солітерному зростанні збільшується товщина кутикули листків, у *Q. rubra* також збільшується висота клітин адаксіального епідермісу, у *Q. robur* таких змін не встановлено. За умов зростання дерев поодиноко щільність продихів на одиницю площі епідерми більша як у *Q. robur*, так і у *Q. rubra,* відносно даних у рослин у групах на 30,6 % у першого і на 25,3 % у другого виду. У рослин-солітерів відбувається зменшення їх розмірів. За солітерної посадки довжина клітин стовпчастого мезофілу більша у листків обох видів дерев, але їх ширина зменшується. Товщина шару палісадної тканини у *Q. rubra* більша за поодинокого зростання порівняно з рослинами груп, у *Q. robur* спостерігається така ж закономірність, але різниця між варіантами більша (25,89 %), розміри губчастої паренхіми у листків дерев *Q. rubra* не відрізняється від показників рослин

групової посадки, проте у *Q. robur* відбувається деяке її потовщення (на 10,16 %). Показники відношення розмірів стовпчастої паренхіми до губчастої у обох видів на двох ділянках майже однакові, як і коефіцієнт палісадності. У рослин-солітерів обох видів за більшого дефіциту повітряної та грунтової вологи відбуваються зміни деяких анатомо-морфологічних показників у бік ксероморфності, що можна розглядати як адаптивні.
Ключові слова: *Quercus rubra; Q. robur;* рослини солітери; групи рослин; листок; анатомічна структура

Вступ

Дуб червоний (*Quercus rubra* L.) цінується в декоративному садівництві за великі розміри, стрункий стовбур, орнаментальне листя, яке восени набуває червоного кольору. Його використовують у країнах Європи й Північної Америки для створення приміських рекреаційних насаджень і в озелененні населених пунктів (Gilman et al, 1994; Bassuk et al, 2009; Stain et al, 2009; Miltner et al, 2016). Але можливість широкого застосування в умовах степової зони України цієї інтродукованої рослини ще недостатньо вивчена. В останні роки посушливі періоди влітку стають все більш тривалими, а температура вищою (Kulbida et al, 2011, Posudin, 2013), що погіршує умови зростання рослин, які в природніх умовах зростання зростають за більш високої вологості (Sander, 1965).

У Дніпропетровській області цей інтродуцент застосовано для створення лісових культур у зоні рекреації міста площею 1,6 та 0,8 га. Рослини зростають у групових посадках та як солітери.

На дерева у групах, навіть на краю межі деревостану, і на ті, що зростають поодинці, на відстані від інших, впливають неоднакові мікрокліматичні умови. У насадженні і біля нього краще затримується волога в грунті, більша вологість повітря. Грунт біля поодиноких дерев більше піддається висиханню, кількість водяних парів, що утримуються в повітрі менша. Різняться також і температурні показники (табл. 5).

Адаптація рослин до різних умов зволоження і температурного режиму відбувається на молекулярному, клітинному і тканинному рівнях (Myers et al., 1987; Saidi et al., 2011; Silva et al., 2014; Martorell et al., 2015; Zhu, 2016; Bessonova et al., 2016; Esmaeilpour et al., 2016; Fanourakis et al., 2017). Зміни фізіологічних та анатомічних показників листків відіграють суттєву роль у пристосування рослин до певних інтервалів коливань факторів довкілля (Vernigora, 2008; Ponomaryova et al., 2009; Kapeljush and Bessonova, 2010; Rezanova et al., 2011; Rezanova and Baksutov, 2011; Kuznetsova et al., 2015).

Аналіз кількісних змін характеристик структури листків рослин надають можливість з'ясувати адаптивні механізми до різних умов зростання на анатомічному рівні і ступінь їх прояву.

Мета цієї роботи – проаналізувати вплив умов зростання дерев *Quercus rubra* поодиноко та у групі у порівнянні з показниками аборигенного виду *Quercus robur* за таких же умов.

Матеріали та методи

Об'єктом дослідження були дерева у групі (ділянка 1) та поодиноко зростаючі рослини (ділянка 2). Відбирали максимально розвинені листки в середній частині пагонів, що закінчили ріст, з південно-східного боку крони на висоті 2 м за однакових умов освітлення в обох варіантах. Використовували фрагменти листка з його середньої частини. Поперечні зрізи листків робили за допомогою ручного мікротому, виготовленого згідно опису (Klejn and Klejn, 1974). Для визначення розмірів тканин і клітин використовували мікроскопом Біомед–4 та окуляр-мікрометр. Середнє значення показників виводили з 25–30 вимірів. Щільність розташування продихів і їх розміри визначали на відбитках, отриманих за методом Г.Х. Молотковського (Bessonova, 2006). Виготовляли тимчасові препарати для вивчення форми клітин епідермісу. Послідовність вивчення здійснювали згідно методики анатомічних досліджень В.Г. Ніколаєвського (Nikolaevskij, 1964). Цифрові зображення отримали за допомогою фотокамери Digital Camera for Microscope DCM–130.

Розрахунки продихового індексу виконували за формулою $\frac{K_n \cdot 100}{K_e + K_n}$, де K_n – кількість продихів на 1 мм^2 поверхні листка, K_e – кількість епідермальних клітин (Gupta, 1961). Індекс ксероморфності – за формулою $I_{xr} = \frac{N_e + N_n}{100}$ %, де N_e – щільність епідермальних клітин, шт./мм^2; N_n – щільність продихів, шт./мм^2 (Weissenbock, 1969; Zhaldak, 2000).

Коефіцієнт палісадності розраховували як відношення товщини палісадного мезофілу листка до загальної товщини листка і виражали у відсотках (Brailko, 2014).

Довжину і ширину листків вимірювали за допомогою лінійки. Площу розраховували ваговим методом. Сиру масу листків визначали зважуванням на вагах АД 1000.

Результати опрацьовано статистично у програмі Microsoft Excel 2010. Розраховували середнє арифметичне значення (x), помилку середнього арифметичного (± m). Для перевірки рівня достовірності різниці між отриманими даними використовували t-test.

Результати та їх обговорення

Як у *Q. robur,* так і *Q. rubra*, більші площа, довжина та ширина листків на ділянці 1 (табл. 1). Суттєвіша різниця між значеннями цих показників у листків дерев у різних умовах зростання спостерігається у *Q. robur* на 40,52, 22,40 та 23,45 % відповідно відносно дерев у групі, тоді як у *Q. rubra* на 46,32, 32,58 та 30,68 %.

Листки *Q. rubra* мають більшу сиру масу порівняно з *Q. robur*. Цей показник у обох видів вищий у рослин, що зростають у групі. У *Q. robur* у поодиноких рослин він становить 59,46 % відносно показників рослин у групі, у *Q. rubra* – 52,42 % (табл. 1).

Таблиця 1. Показники листків *Q. robur* та *Q. rubra* у різних умовах зростання

Варіант	Площа, см^2	Довжина, см	Ширина, см	Сира маса, г
		Quercus robur		
Ділянка 1	142,59±11,55	13,57±0,48	9,04±0,43	1,11±0,09
Ділянка 2	84,82±4,19	10,53±0,27	6,92±0,23	0,66±0,03
t*	4,7	5,53	4,32	4,74
		Quercus rubra		
Ділянка 1	293,75±26,57	22,5±0,78	15,22±0,66	2,48±0,22
Ділянка 2	157,59±9,89	15,17±0,39	10,55±0,16	1,30±0,18
t*	4,8	9,64	10,15	4,2

Примітка: різниця між показниками ділянки 1 та ділянки 2 статистично достовірна за P ≤ 0,05; n = 30

Листки як *Q. robur,* так і *Q. rubra,* вкриває відносно товстий шар кутикули, який є більш розвиненим у *Q. robur* (табл. 2). У рослин на ділянці 2 товщина кутикули в обох видів збільшується в 1,25 та 1,37 рази відповідно, і це має важливе значення у зменшенні втрати вологи асиміляційними органами.

Клітини абаксіальної епідерми у листків *Q. rubra* на ділянці 2 мають меншу ширину, ніж на ділянці 1, але їх висота в обох варіантах майже однакова (табл. 2). У листків *Q. robur* ширина клітин відрізняється мало в обох варіантах, а їх висота більша у рослин, що зростають поодиноко. Клітини епідерми адаксіальної поверхні листка *Q. rubra* мають більшу висоту у рослин солітерів, порівняно з тими, що зростають у групі, а їх ширина навпаки, менша. Розміри клітин верхньої епідерми листків *Q. robur* статистично не відрізняється. Отже, враховуючи, що епідерміс виконує такі функції як обмеження транспірації, механічний захист тканин листка, збільшення висоти його клітин у *Q. rubra* одночасно зі збільшенням товщини кутикули відіграє адаптивну роль в умовах меншого вмісту води у повітрі та ґрунті на відкритому просторі. У листків *Q. robur* спостерігається потовщення тільки кутикули, а висота адаксіальних клітин епідермісу однакова незалежно від умов зростання, проте у цього виду у поодиноких дерев більша висота клітин абаксіального епідермісу.

Таблиця 2. Вплив умов зростання на показники епідерми та товщину кутикули листкової пластинки *Q. rubra* та *Q. robur*, мкм

Варіант	Товщина кутикули	Адаксіальна епідерма		Абаксіальна епідерма	
		висота	ширина	висота	ширина
			Quercus rubra		
Ділянка 1	6,2 ± 0,65	17,86 ± 0,77	29,40 ± 1,25	10,76 ± 0,32	13,92 ± 1,32
Ділянка 2	8,5 ± 0,56	22,60 ± 1,02	22,04 ± 1,45	9,05 ± 0,31	9,06 ± 0,54
%*	137,09	126,54	76,19	82,2	65,08
t**	2,7	6,02	5,46	3,97	3,44
			Quercus robur		
Ділянка 1	8,10 ± 0,48	19,42 ± 1,02	29,02 ± 0,82	12,20 ± 0,31	19,36 ± 0,74
Ділянка 2	10,12 ± 0,78	17,86 ± 0,77	27,05 ± 1,72	17,36 ±0,40	17,24 ± 0,60
%*	125,0	91,97	107,28	142,29	89,04
t	2,21**	0,96	1,04	10,2**	2,33**

Примітка: * – відсоток значень ділянки 2 від значень на ділянці 1; ** – різниця між показниками ділянки 1 та ділянки 2 статистично достовірна за P ≤ 0,05; n = 30

Кількість продихів на одиницю абаксіальної поверхні листка (мм^2) більша у *Q. rubra*, як на ділянці 2, так і на ділянці 1, ніж у *Q. robur* (табл. 3). Щільність продихів у обох видів більша ніж 350 шт на мм^2 поверхні епідерми, що за класифікацією B.R. Vasil'ev (1988) «дуже велика». В умовах зростання дерев поодиноко вона більша як у *Q. robur*, так і у *Q. rubra* відносно даних у цих рослин у групах на 30,6 % і на 25,3 % відповідно. За впливу різних умов зростання (солітерні і групові посадки) на кількість клітин епідерми листка *Q. rubra* на 1 мм^2, такої закономірності не виявили. Їх щільність дещо зменшується у *Q. robur* на ділянці 2 (табл. 3).

Продихи – основні структурні елементи епідерми листка, через які відбувається рух молекул води і CO_2 у газоподібній формі. Вони відіграють домінуючу роль у регуляції газообміну (Moldau, 1977; Dickson and Tomlinson, 1996; Lau, 2017). Продиховий індекс у поодиноко зростаючих рослин більший як у листків *Q.rubra*, так і *Q. robur* (на 21,7 % і 28,9 % відповідно) відносно його величини у рослин у групах (табл. 3).

Таблиця 3. Вплив умов зростання на щільність клітин епідерми і продихів листкової пластинки *Q. rubra та Q. robur*

Варіант	Щільність продихів, шт/мм^2	Кількість клітин епідерми, шт/мм^2	Продиховий індекс, %
		Quercus rubra	
Ділянка 1	430 ± 10,36	1037 ± 15,16	28,34
Ділянка 2	539 ± 12,17	1023 ± 10,71	34,5
t	6,8*	0,75	–
		Quercus robur	
Ділянка 1	359 ± 14,13	1079 ± 12,32	24,96
Ділянка 2	469 ± 18,02	993 ± 10,24	32,07
t	4,8*	5,37*	–

Примітки: * – різниця між показниками ділянки 1 та ділянки 2 статистично достовірна за P ≤ 0,05; n = 30

Порівняння стоматографічних характеристик епідерміса вивчених видів дубів свідчить про те, що при зростанні їх поодиноко (ділянка 2) продихи більш дрібні, вони характеризуються меншими шириною та довжиною замикальних клітин (табл. 4). Зменшення площі листків і зростання числа продихів є проявом ксероморфності зрілих листків (Gindel, 1969; Dickson and Tomlinson, 1996).

Таблиця 4. Вплив умов зростання на продиховий апарат абаксіальної поверхні листа *Q. rubra* та *Q. robur*

Варіант	Довжина замикальних клітин	% показників відкритого простору до показників насадження	t	Ширина замикальних клітин	% показників відкритого простору до показників насадження	t
			Quercus robur			
Ділянка 1	25,16 ± 0,36	87,44	5,27	8,14 ± 0,09	98,03	0,69
Ділянка 2	22,00±0,48			7,98 ± 0,21		
			Quercus rubra			
Ділянка 1	26,37 ± 0,27	80,20	11,86	14,20 ± 0,45	78,31	4,05*
Ділянка 2	21,15 ± 0,35			11,12 ± 0,62		

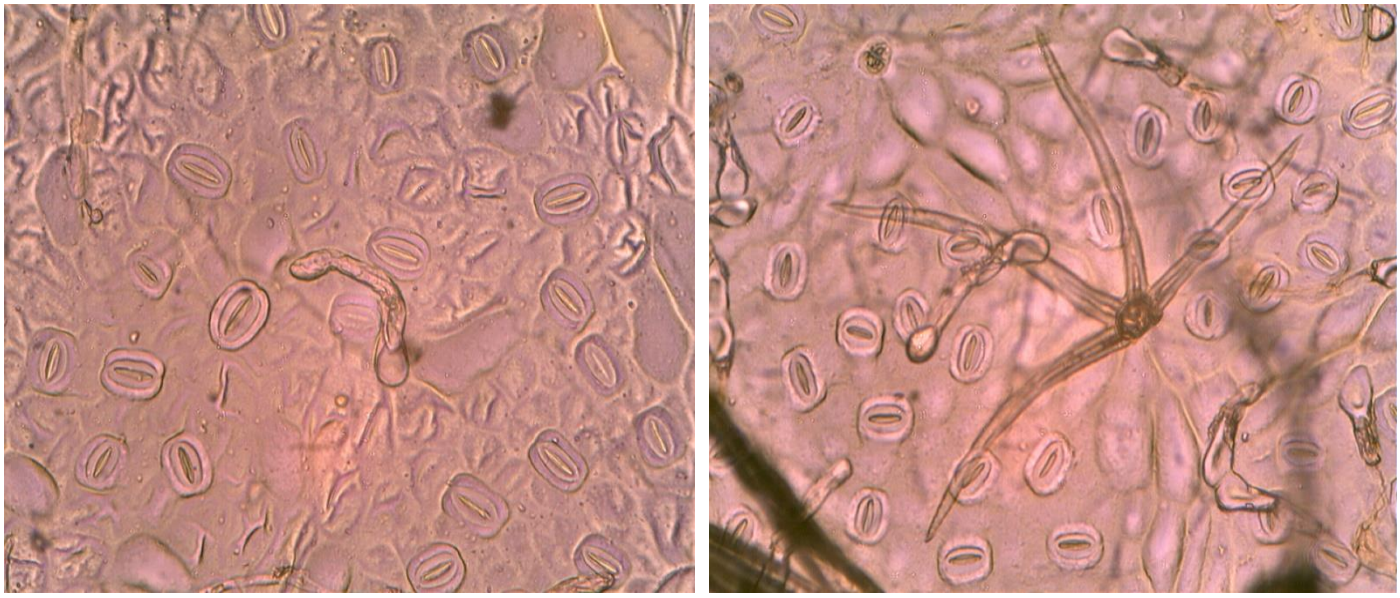
Примітки: * – різниця між показниками ділянки 1 та ділянки 2 статистично достовірна за P ≤ 0,05; n = 30

У червні ступінь відкритості продихів більша у листків рослин ділянки 1 (рис. 1, 2). У листків *Q. rubra* розмір продихової щілини менший на 50,0 %, *Q. robur* на 39,13 %, порівняно з листками рослин у групі (табл. 5). У липні та вересні у обох видів відкритість продихів більша навпаки на ділянці 2.

Таблиця 5. Вплив умов зростання на відкритість продихів нижньої поверхні листка, мкм

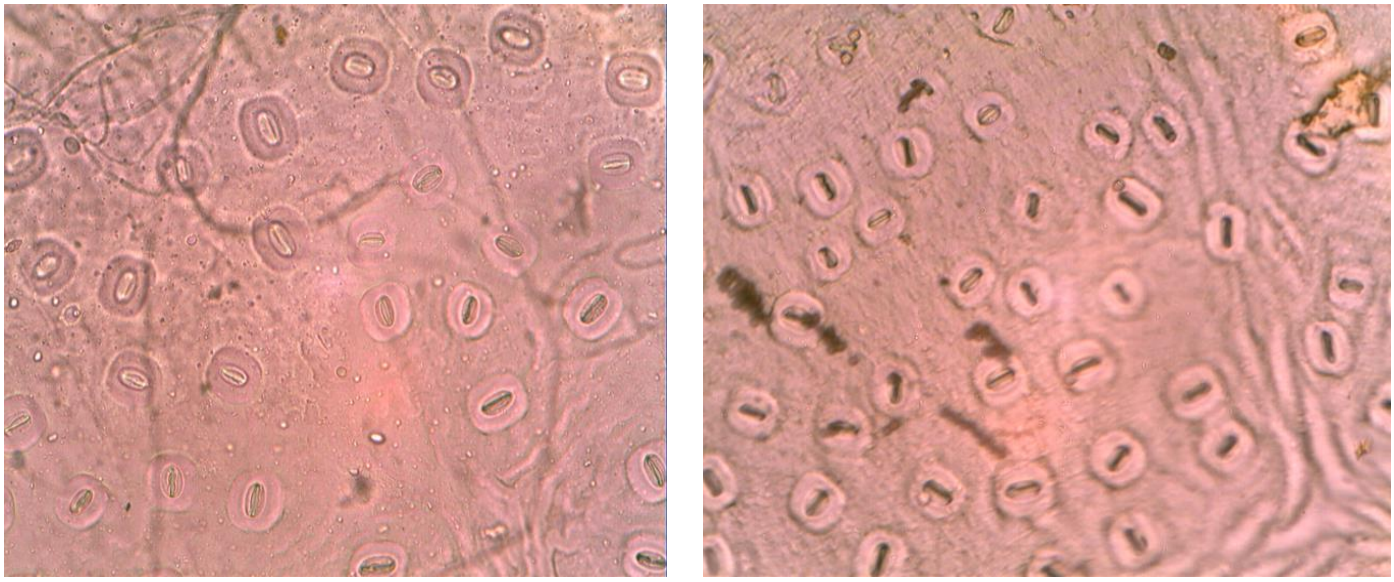
Варіант	$\frac{t, ℃}{\varphi *}$	Червень 11 год	$\frac{t, ℃}{\varphi}$	Липень 11 год	$\frac{t, ℃}{\varphi}$	Вересень 11 год
			Quercus rubra			
Ділянка 1	$\frac{25}{39}$	6,24±0,11	$\frac{30}{35}$	4,15±0,32	$\frac{31}{33}$	5,29±0,44
Ділянка 2	$\frac{28}{36}$	3,12±0,10	$\frac{33}{29}$	7,26±0,26	$\frac{36}{27}$	8,31±0,23
%**		50,00		174,93		157,08
t***		20,8		7,58		3,55
			Quercus robur			
Ділянка 1	$\frac{25}{39}$	5,47±0,21	$\frac{30}{35}$	4,00±0,31	$\frac{31}{33}$	4,70±0,26
Ділянка 2	$\frac{28}{36}$	3,33±0,25	$\frac{33}{29}$	6,11±0,20	$\frac{36}{27}$	7,62±0,37
%**		60,87		152,75		162,13
t***		6,56		5,72		6,46

Примітка: * – відносна вологість повітря; ** – відсоток значень ділянки 2 від значень на ділянці 1; *** – різниця між показниками ділянки 1 та ділянки 2 статистично достовірна за P ≤ 0,05; n = 30



а б

Рис. 1. Вплив умов зростання на продиховий апарат *Q.robur*: а – ділянка 1; б – ділянка 2 (липень)



а б

Рис. 2. Вплив умов зростання на продиховий апарат *Q.rubra*: а – ділянка 1; б – ділянка 2 (липень)

Показано, що при постійному дефіциті вологи у ґрунті продихи менш відкриті за умов низької відносної вологості повітря (Moldau, 1975; Willner et al., 1978; Drake et al., 2017). Проте на розмір продихової щілини впливає і температура повітря. Так, в умовах більш високих їх показників у липні (33°С) і вересні (36°С) відкритість продихів у листків рослин обох видів більша на ділянці 2.

Взагалі, механізм впливу температури на продихи складний (Laffray and Louguet, 1990). За надоптимальних температур продихи відкриваються не повністю, проте у велику спеку у ряді видів відкритість продихів сягає максимуму (Larher,1978). У листків ряду рослин продихова апертура збільшується при зростанні температури від 15 до 36°С (Hotsta, Hesketh, 1969).

Листкова пластинка в обох видів тонка за класифікацією B.R Vasil'ev (1988). Листок як у *Q. rubra*, так і у *Q. robur* дорзивентральний, тобто має двобічну будову (табл. 6). До адаксіальної епідерми примикає стовпчаста паренхіма, яка представлена двома рядами палісадних клітин, які тісно стикаються (без міжклітинників). Нижче розташована губчаста паренхіма, яка складається з клітин неправильної форми у листків обох видів рослин. На ділянці 2 ширина шару палісадної тканини у *Q. rubra* дещо ширша (рис. 1), ніж у рослин на ділянці 1 (різниця статистично достовірна), у *Q. robur* спостерігається така ж закономірність, але різниця між варіантами більша (25,89 %). Розміри губчастої паренхіми у листків дерев *Q. rubra* солітерної посадки не відрізняються від показників рослин групової посадки, проте у *Q. robur* відбувається деяке її потовщення (на 10,16 %) (рис. 3, 4). Довжина клітин стовпчастого мезофілу більша у листків обох видів дерев на ділянці 2, але їх ширина зменшується.

Таблиця 6. Вплив умов зростання на показники мезофілу листкової пластинки *Q. rubra* та *Q. robur*

Показники	*Q. rubra*		*Q.robur*	
	Ділянка 1	Ділянка 2	Ділянка 1	Ділянка 2
Стовпчаста паренхіма, мкм	67,17 ± 0,33	72,26 ± 0,49	73,48 ± 1,40	92,51 ± 1,15
t	–	8,63**	–	10,51**
Губчаста паренхіма, мкм	62,00 ± 1,12	61,24 ± 1,27	72,60 ± 1,33	84,68 ± 0,74
Клітини стовпчатої паренхіми, мкм:				
довжина	33,20 ± 0,41	38,90 ± 0,38	36,60 ± 0,40	40,32 ± 0,32
%*	–	117,17	–	110,16
t	–	10,18**	–	7,29**
ширина	9,28 ± 0,24	7,78 ± 0,12	8,02 ± 0,30	6,38 ± 0,11
%	–	83,84	–	79,55
t	–	5,77**	–	5,29**
Клітини губчастої паренхіми, мкм:				
довжина	12,70 ± 0,96	14,46 ± 0,60	14,66 ± 0,67	15,74 ± 0,72
%*	–	113,86		107,37
t	–	1,55		1,09
ширина	13,40 ± 0,96	14,22 ± 0,57	18,36 ± 0,48	17,98 ± 0,72
%*		106,12		97,93
t		0,73		0,44
Розміри міжклітинників, мкм	14,25×11,17	9,36×7,21	10,24×6,52	6,32×5,41
Коефіцієнт палісадності	42,42	43,81	41,3	43,55
Відношення довжини клітин стовпчастої паренхіми до їх ширини	3,57	5,00	4,56	6,31
Стовпчаста/губчаста	1,08	1,18	1,01	1,09

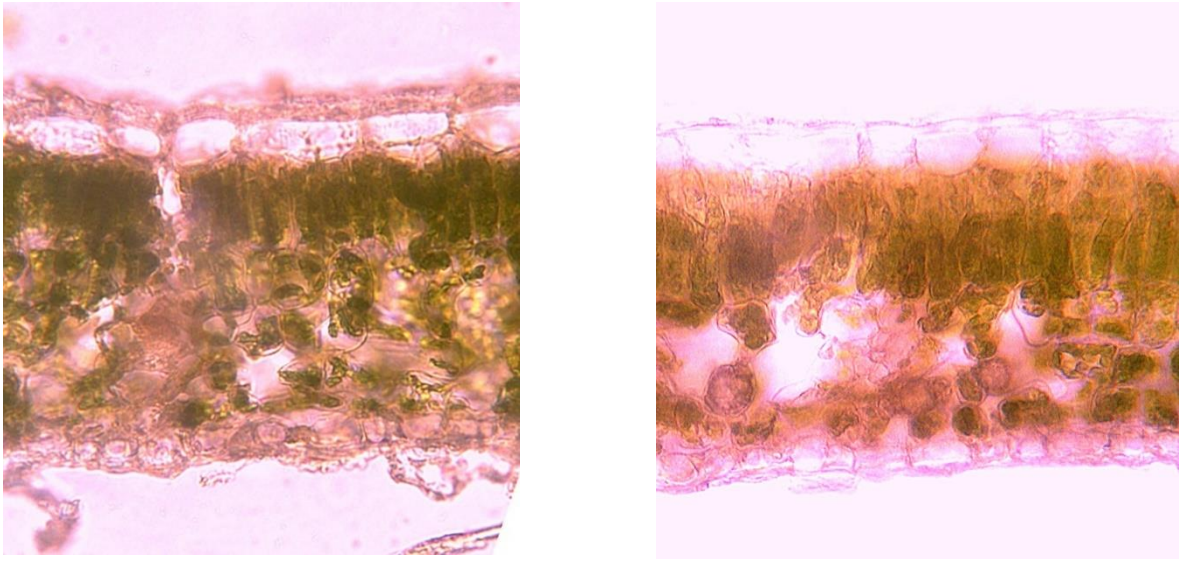
Примітка: * – відсоток значень ділянки 2 від значень на ділянці 1; ** – різниця між показниками ділянки 1 та ділянки 2 статистично достовірна за $P \leq 0,05$; $n = 30$

Розміри клітин губчастої паренхіми статично не відрізняються у рослин у групах і у поодиноких посадках, однак міжклітинники у губчастому мезофілі менші у поодиноких дерев (табл. 6). Показники відношення розмірів стовпчастої паренхіми до губчастої у обох видів на двох ділянках майже однакові, як і коефіцієнт палісадності.



а б

Рис. 3. Вплив умов зростання на анатомічну структуру листка *Q. robur*: а – ділянка 1; б – ділянка 2



а б

Рис. 4. Вплив умов зростання на анатомічну структуру листка *Q. rubra*: а – ділянка 1; б – ділянка 2

Такі показники анатомічної будови листків як розміри клітин губчастої паренхіми, клітин епідерми, коефіцієнт палісадності та відношення стовпчастої паренхіми до губчастої практично однакові у рослин, що зростають у групі і дерев-солітерів, як *Q. robur,* так і *Q. rubra.* Проте, у будові листків у поодиноких дерев посилюються риси ксероморфної структури листа, до яких перш за все відноситься збільшення щільності продихів на одиницю поверхні епідерми, зменшення розмірів продихів і розмірів міжклітинників губчастої паренхіми та збільшення відношення довжини клітин стовпчастої паренхіми до їх ширини. Отже, у рослин-солітерів обох видів за більшого дефіциту повітряної та грунтової вологи відбуваються анатомо-морфологічні адаптивні зміни листка, що забезпечують пристосування до цих умов зростання.

Висновки

Виявлено більшу площу листків та їх сиру масу як *Q. rubra*, так і у *Q. robur*, що зростають групами, порівняно з поодиноко зростаючими рослинами. За умов зростання дерев поодиноко у рослин-солітерів відбувається зменшення розмірів продихів, їх щільність на одиницю площі епідерми більша у обох видів, відносно даних у рослин у групах. За солітерної посадки довжина клітин стовпчастого мезофілу більша у листків обох видів дерев, але їх ширина зменшується. Товщина шару палісадної тканини як у *Q. rubra*, так і у *Q. robur*, більша за поодинокого зростання порівняно з рослинами груп, розміри ж губчастої паренхіми у листків дерев *Q. rubra* не відрізняється від показників рослин групової посадки, проте у *Q. robur* відбувається деяке її потовщення. Розміри клітин цієї тканини у листків досліджуваних видів практично однакові у обох варіантах. У рослин-солітерів обох видів за більшого дефіциту повітряної та грунтової вологи відбуваються зміни деяких анатомо-морфологічних показників у бік ксероморфності, що можна розглядати як адаптивні.

References

Bassuk, N., Curtis, D.F., Marranca, B.Z., Barb, N. (2009.) Recommended Urban Trees: Site Assessment and Tree Selection for Stress Tolerance. Urban Horticulture Institute.

Bessonova, V.P. (2006). Praktykum z fiziologii' roslyn. Dnipropetrovs'k, RVV DDAU (in Ukrainian).

Bessonova, V.P., Tkach, V.V., Kryvoruchko, A.P. (2016). Water metabolism of leaves of *Quercus robur* in antierosion stands in the south of its range. Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology, 24(2), 444–450. doi: 10.15421/011660 (in Ukrainian).

Brailko, V.A. (2013). Characteristics of leaf anatomy in some species of genus Lonicera L., cultivated in the southern coast of Crimea. Plant Introduction, 3, 61–65.

Dickson, R.E., Tomlinson, P.T. (1996). Oak growth, development and carbon metabolism in response to water stress. Ann Sci For, 53, 181–196.

Drake, J.E., Power, S.A., Duursma, R.A., Medlyn, B.E., .Aspinwall, M.J, Choat, B., Creek, D., Eamus, D., Maier, C., Pfautsch, S., Smith, R.A., Tjoelker, M.G., Tissue, D.T. (2017.) Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis for four tree species under drought: A comparison of model formulations. Agricultural and Forest Meteorology, 247, 454-466. doi: 10.1016/j.agrformet.2017.08.026

Esmaeilpour, A., Van Labeke, M.-C., Samson, R., Boeckx, P., Van Damme, P. (2016). Variation in biochemical characteristics, water status, stomata features, leaf carbon isotope composition and its relationship to water use efficiency in pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars under drought stress condition. Scientia Horticulturae, 211, 158-166. doi: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.08.026

Fanourakis, D., Hyldgaard, B., Giday, H., Bouranis, D., Körner, O., Nielsen, K.L., Ottosen, C.O. (2017). Differential effects of elevated air humidity on stomatal closing ability of *Kalanchoë blossfeldiana* between the C_3 and CAM states. Environmental and Experimental Botany, 143, 115–124. doi: 10.1016/j.envexpbot.2017.09.005

Gilman, E.F., Watson, D.G. (1994). *Quercus rubra* Northern Red Oak. United States Department of Agriculture, Forest Service, Fact Sheet ST-560.

Gindel, J. (1969). Stomata constellation in the leaves of cotton, maire and wheat plants as a function of soil moisture and environment. Physiol. Plant., 22 (6), 1143 – 1151.
Hotstra, G., Hesketh, J.D. (1969). The effect of temperature on stomatal aperture in different species. Can. J. Bot., 47 (8), 1307–1310.
Kapeljush, N.V., Bessonova, V.P. (2010). Biologija plataniv (Platanus orientalis L., Platanus acerifolia Willd.) v urbotehnogennyh umovah stepovoi' zony Ukrai'ny. Zaporizhzhja, Dyke pole. (in Ukrainian).
Klejn, R.M., Klejn, D.T. (1974). Metody issledovanija rastenij. Moskva, Kolos. (in Russian).
Kulbida, M., Barabash, M., Elistratova, L. (2011). Forecast changes in climate in Ukraine in the early XXI century. Scientific notes of Vinnytsya State Pedagogical University named after Michailo Kotzubynsky. Series: Geography, 23, 10–17. (in Ukrainian).
Kuznetsova, T.A., Sorokopudov, V. N., Yushin, Yu., V. (2015). Features Padus racemosa L. adaptation in different climatic conditions. University proceedings. Volga region. Natural Sciences. Biology, 3, 23–31. (in Ukrainian).
Lafftay, D., and Louguet, Ph. (1990) Stomatal responses and drought resistance. Bulletin de la Societe Botanique de France. Actualites Botanigues, 137 (1), 47–60. doi: 10.1080/01811789.1990.10826986
Larher, V. (1978) Jekologija rastenij. Moskva, Mir. (in Russian).
Lau, O.S. (2017) Stomata. In: eLS. John Wiley and Sons Ltd. Chichester. http://www.els.net doi: 10.1002/9780470015902.a0002075.pub3
Martorell, S., Diaz-Espejo, A., Tomàs, M., Pou, A., Aou-ouad, H.El, Escalona, J.M., Vadell, J., Ribas-Carbó, M., Flexas, J., Medrano, H. (2015) Differences in water-use-efficiency between two *Vitis vinifera* cultivars (Grenache and Tempranillo) explained by the combined response of stomata to hydraulic and chemical signals during water stress. Agricultural Water Management, 156, 1-9. doi: 10.1016/j.agwat.2015.03.011
Miltner. S., Kupka, I. (2016) Silvicultural potential of northern red oak and its generation. Journal of Forest Science, 65, 145–152. doi: 10.17221/115/2015-JFS
Moldau, H.A. (1975). Zavisimost' soprotivlenija ust'ic ot meteorologicheskih faktorov pri vodnom deficite. In Vodnyj obmen v osnovnyh tipah rastitel'nosti SSSR kak jelement krugovorota veshhestv i jenergii. Novosibirsk, Nauka, 42–49. (in Russian).
Moldau, H.A. (1977). Ust'ica – universal'nye reguljatory fotosinteza. Fiziologija rastenij, 24 (5), 969 – 975. (in Russian).
Myers, B.J., Robichaux, R.H., Unwin, G.L., Craig, I.E. (1987) Leaf water relations and anatomy of a tropical rainforest tree species vary with crown position. Oecologia, 74, 81–85.
Nikolaevskij. V.G. (1964). K metodike kolichestvenno-anatomicheskogo izuchenija vlijanija vneshnej sredy na strukturu vegetativnyh organov vysshih rastenij. Botanicheskij zhurnal, 49 (6), 833–838. (in Russian).
Ponomaryova, T.V., Kuzmina, N.A., Kuzmin, S.R. (2009). Soil water reserve influence on coniferous species growth in the experimental conditions. Bulletin of KrasGAU, 12, 45–49. (in Russian).
Posudin, Yu. (2013). Causes, consequences and perspectives of increasing average air temperature in the world, Ukraine and Kiev. Scientific reports NULES of Ukraine. Available from: http://nd.nubip.edu.ua/2013_1/13pyi.pdf/ Accessed on 25.11.2017 (in Russian).
Rezanova, T.A., Sorokopudov, V.N., Nazarova, N.V. (2011). Criteria of the estimation of level of drought resistance of kinds of sort Juglans in the conditions of the Belgorod region. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences, 9 (15/1), 305–310. (in Russian).
Rezanova, T.A., Baksutov, S. A. (2011). Adaptive features of the surface of sheet at kinds of sort *Crataegus (Rosaceaeiuss.)*. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences, 9 (15/2), 21–2. (in Russian).
Saidi, Y., Finka, A., Goloubinoff, P. (2011). Heat perception and signalling in plants: A tortuous path to thermotolerance. New Phytologist, 190, 556-565. doi: 10.1111/j.1469-8137.2010.03571.x
Sander, I.L. (1965). Northern red oak Quercus rubra L.). In Silvics of forest trees of the United States. p. 588-592. H. A. Fowells, comp. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 271. Washington, DC.
Silva, H., Sagardia, S., Ortiz, M., Franck, N., Opazo, M., Quiroz, M., Baginsky, C., Tapia, C. (2014). Relationships between leaf anatomy, morphology, and water use efficiency in Aloe vera (L) Burm f. as a function of water availability. Revista Chilena de Historia Natural, 87, 13. doi:10.1186/s40693-014-0013-3
Stain, J., Binion, D., Acciavatti, R. (2003). Field guide to native oak species of Eastern North America. United States Department of Agriculture, Forest Service, FHTET–2003–01.
Vasil'ev, B.R. (1988). Stroenie lista drevesnyh rastenij razlichnyh klimaticheskih zon. Leningrad, Izdatel'stvo Leningradskogo universiteta. (in Russian).
Vernigora, E.G. (2008). Morfologicheskie reakcii jepidermy hvojnyh porod na izmenenie klimaticheskih uslovij rosta. Vestnik KrasGAU. Jekologija, 4, 122–130. (in Russian).
Weissenbock, V.G. (1969). Einfluß des Bodensalzgehaltes auf Morphologie und Ionenspeicherung von Halophyten. Flora, 158, 369–389.
Willmer, C.M., Don, R., Parker, W. (1978) Levels of Short-chain Fatty Acids and of Abscisic Acid in Water-stressed and Non-stressed Leaves and their Effects on Stomata in Epidermal Strips and Excised Leaves. Planta, 139, 281–287.
Zhaldak, S.N. (2000). Vzaimodejstvie v soobshhestvah odnoletnih galofitov i ih vlijanie na anatomo-morfologicheskie struktury rastenij. Pytannja bioindykacii' ta ekologii', 5 (3), 17–20. (in Russian).
Zhu, J.-K. (2016). Abiotic Stress Signaling and Responses in Plants. Cell, 167, 313-324. doi: 10.1016/j.cell.2016.08.029

Citation:
Kryvoruchko, A.P., Bessonova, V.P. (2018). Anatomic leaves characteristics of Quercus rubra L. and Quercus robur L. and stand density. *Ukrainian Journal of Ecology, 8*(1), 64–71.
(cc) BY This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License