

ISSN 1029-8940 (Print)

ISSN 2524-230X (Online)

УДК 630+556.136

DOI: 10.29235/1029-8940-2018-63-2-222-231

Поступила в редакцию 13.06.2017

Received 13.06.2017

В. П. Бессонова, А. П. Криворучко

Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, Днепр, Украина

**ПОКАЗАТЕЛИ ВОДНОГО ОБМЕНА ЛИСТЬЕВ ДУБА QUERCUS ROBUR L.
И QUERCUS RUBRA L. В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ
В СЕВЕРНОЙ ПОДЗОНЕ СТЕПИ УКРАИНЫ**

Аннотация. Проведено сравнение показателей водного обмена листьев дуба красного (*Quercus rubra* L.) и дуба обыкновенного (*Quercus robur* L.) в искусственном насаждении и на открытом пространстве. Установлено, что у отдельно растущих деревьев листья *Q. robur* характеризуются преимущественно большей интенсивностью транспирации во все месяцы исследования, меньшей водоудерживающей способностью и большим водным дефицитом, чем листья *Q. rubra*. В насаждении у большинства растений обоих видов испарение воды менее значительное, чем у отдельно растущих деревьев. Показатели водного дефицита листьев *Q. robur* в открытом пространстве превышают таковые у *Q. rubra*, а в насаждении, наоборот, они больше у *Q. rubra*. Для относительной тургоресцентности характерна противоположная закономерность. Полученные результаты можно объяснить более слабой конкурентоспособностью за влагу *Q. rubra* в насаждении. По показателям водного режима *Q. rubra* является достаточно устойчивым видом в условиях засушливого климата степи Украины и по ряду из них не уступает *Q. robur*, что свидетельствует о возможности широкого использования этого интродуцента в искусственных лесных насаждениях и в озеленении населенных пунктов в этой зоне.

Ключевые слова: *Q. rubra*, *Q. robur*, водный режим, транспирация, водоудерживающая способность, водный дефицит, относительная тургоресцентность

Для цитирования: Бессонова, В. П. Показатели водного обмена листьев дуба *Quercus robur* L. и *Quercus rubra* L. в различных условиях произрастания в северной подзоне степи Украины / В. П. Бессонова, А. П. Криворучко // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биол. наук. – 2018. – Т. 63, № 2. – С. 222–231. DOI: 10.29235/1029-8940-2018-63-2-222-231

V. P. Bessonova, A. P. Kryvoruchko

Dnepropetrovsk State University of Agriculture and Economics, Dnepr, Ukraine

**INDICATORS OF WATER EXCHANGE OF LEAVES OF OAK QUERCUS ROBUR L.
AND QUERCUS RUBRA L. IN VARIOUS GROWING CONDITIONS
IN THE NORTHERN SUBZONE OF THE STEPPE OF UKRAINE**

Abstract. Water metabolism indicators of leaves *Q. robur* and *Q. rubra* in artificial planting and trees at a distance from him was compared. Found that the leaves *Q. robur* of separately growing trees is characterized by predominantly higher intensity of transpiration in all months of the study than *Q. rubra*. Planting both types in the vast majority of measurements of water evaporation is less significant than in the separately growing trees in a clearing. Noted that in September, the figures of evaporation of water is the highest relative to the previous time of measurement. Was observed the fall of this indicator in the hottest period of the day, as in July, indicating deterioration of the water loss regulation. The *Q. robur* leaf water deficit in plants of open space is bigger than in planting in all studied periods. In *Q. rubra*, the figure bigger in the planting. A comparison of leaves water deficit both species separately growing trees indicates that it is smaller in *Q. rubra* than in *Q. robur*, it is consistent with a more intense return of water by *Q. robur* leaves. But planting despite more intense transpiration and lower water-holding capacity from *Q. robur* has conversely situation. During all periods of the study water-storage capacity is higher in the *Q. rubra* leaves than in *Q. robur*. However, the relative turgescence in *Q. robur* leaves the highest in the plantations, in *Q. rubra* this figure the biggest in separately growing trees, which can be explained by the fact that this indicator depends not only from evaporation, but also to a large extent on the flow of water through the root system.

Keywords: *Q. rubra*, *Q. robur*, water regime, transpiration, water-storage capacity, water deficit, relative turgescence

For citation: Bessonova V. P., Krivoruchko A. P. Indicators of water exchange of leaves of oak *Quercus robur* L. and *Quercus rubra* L. in various growing conditions in the northern subzone of the steppe of Ukraine. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnych navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2018, vol. 63, no. 2, pp. 222–231 (in Russian). DOI: 10.29235/1029-8940-2018-63-2-222-231

Введение. Ключевыми проблемами при изучении вопросов лесонасаждения в условиях украинской степи являются такие, как сохранение и поддержание лесных ландшафтов, их биологического разнообразия, экологизация системы ведения лесного хозяйства. Степное лесоразведение и сейчас остается одним из национальных приоритетов Украины [1]. В лесных насаждениях степи Украины широко используются интродуцированные виды растений, которые часто проявляют более высокую устойчивость к климатическим условиям, чем аборигенные [2, 3].

Большой интерес представляет возможность использования для лесоразведения и озеленения городских территорий растений вида *Quercus rubra* L. (родина Северная Америка), широко применяемых в искусственных лесных насаждениях в Западной Украине [4, 5], Беларуси [6], России [7]. Степная зона Украины характеризуется континентальным климатом, высокими температурами летом и малым количеством годовых осадков (300–450 мм) [8], поэтому этот вид в лесокультурах почти не встречается, а его эколого-физиологические особенности в данных условиях не изучены.

Успешность использования любого интродуцированного вида зависит от засухоустойчивости, которая в значительной степени определяется спецификой водного режима [9]. В условиях ограниченного водоснабжения наиболее продуктивными являются те растения, которые способны поддерживать стабильность водного баланса. Это имеет решающее значение для жизнедеятельности растений [10], поскольку водоснабжение растений влияет на ход всех физиологических процессов [11–15].

Одни исследователи считают, что критерием, позволяющим выявить устойчивость растений к засухе, в том числе на фоне других неблагоприятных факторов, является водный дефицит [16–18], другие предполагают, что такими критериями являются интенсивность транспирации [19–25], водоудерживающая способность [12, 13, 26], а также осмотическое регулирование, с помощью которого растение задерживает воду и выживает в стрессовых условиях [27]. Объективные сведения о реакции растений на недостаточное водоснабжение в условиях засушливого климата можно получить с помощью ряда показателей, всесторонне характеризующих водный режим.

Цель данной работы – сравнение показателей водного режима листьев интродуцента *Quercus rubra* L. и аборигенного вида *Quercus robur* L. в искусственном насаждении в условиях северо-степной подзоны Украины.

Материалы и методы исследования. Объектами исследования были 10-летние растения дуба красного (*Quercus rubra* L.) и дуба обыкновенного (*Quercus robur* L.), растущие на экспериментальном участке площадью 1,6 га Ленинского лесничества Днепропетровской области. Древостой участка 7ДчЗДз.

Показатели водного режима листьев определяли у одиноко стоящих деревьев, которые росли на открытом пространстве, и у деревьев во внешнем ряду насаждения, расстояние между которыми составляло 2,5 м. Кроны деревьев несомкнутые, хорошо освещенные.

С целью получения однородного материала для исследований с 5 модельных деревьев срывали второй и третий листы в основании однолетних побегов с юго-восточной стороны и в средней части кроны. Интенсивность транспирации листьев определяли методом быстрого взвешивания на электронных весах ТВЕ-0,21-0,001 с экспонированием на рассеянном свете в течение 5 мин. Водоудерживающую способность определяли путем учета потери влаги через 30, 60 и 120 мин по А. А. Арланду и выражали в процентах к общему ее содержанию, водный дефицит и относительную тургоресцентность – после насыщения высечек листа водой. Для установления степени открытия устьиц использовали метод отпечатков Г. Х. Молотковского [28]. Измерения осуществляли окуляр-микрометром, используя микроскоп «Биомед-4». Снимки делали с помощью фотокамеры (Digital Camera for Microscope DCM 130). Одновременно с отбором проб определяли температуру и влажность воздуха электронным термогигрометром ТА308. Статистическую обработку данных проводили с помощью программы Microsoft Excel 2010.

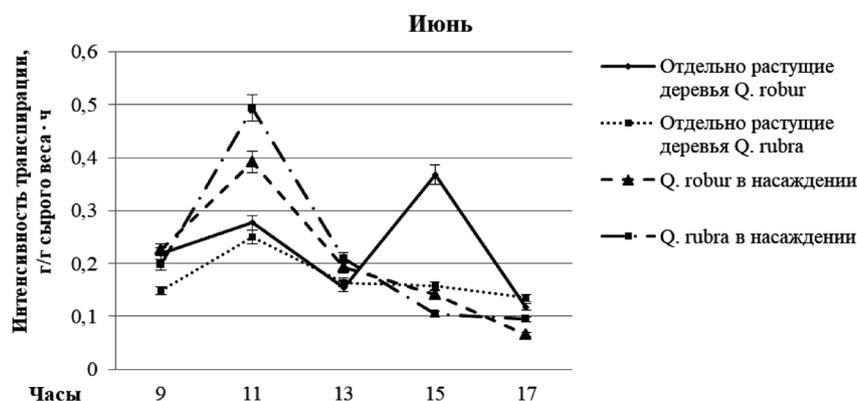
Результаты и их обсуждение. Установлено, что в июне у одиночных растений *Q. robur*, которые растут на расстоянии от насаждения, интенсивность транспирации листьев представлена кривой с двумя максимумами: первый приходится на 11.00 со снижением интенсивности испарения воды в 13.00 в 1,8 раза; второй, более значительный, – на 15.00. Дневной ход транспирации

в *Q. rubra* имеет несколько иной характер. Наибольшее испарение воды листьями этого вида наблюдается в 11.00, потом оно резко падает (в 1,5 раза) с последующим медленным снижением (рис. 1). У *Q. robur* потеря воды в процессе транспирации более значительная.

У деревьев, растущих в насаждении, показатели транспирации листьев отличаются от таковых у деревьев открытого пространства. У обоих видов интенсивность испарения влаги листьями в насаждении с утра до 13.00 выше, чем у одиночных деревьев, а в последующие часы измерения (15.00 и 17.00) этот показатель становится значительно меньше у растений в насаждении (рис. 1).

Таким образом, интенсивность транспирации листьев как отдельно растущих деревьев, так и деревьев в насаждении выше у *Q. robur*, чем у *Q. rubra*.

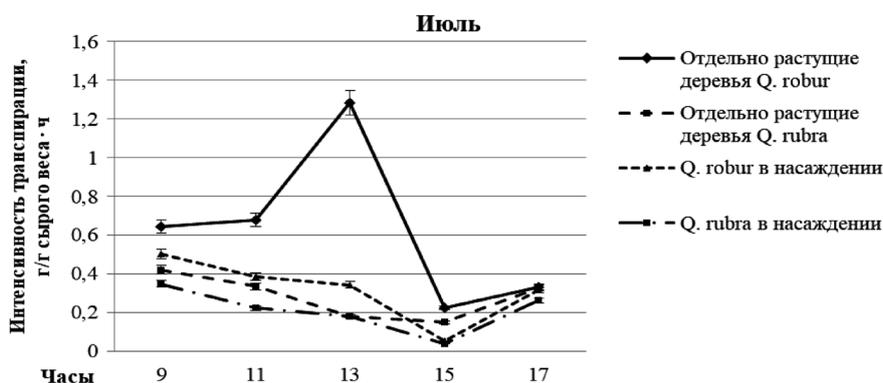
В июле у деревьев *Q. robur* открытого пространства ход транспирационного процесса выражается кривой с наиболее высоким показателем в 13.00, его последующим крутым спадом (в 5,73 раза) в 15.00 и новым незначительным повышением в 17.00. У *Q. rubra* максимальное испарение отмечается утром (в 9.00), далее значения постепенно снижаются до 15.00 с последующим подъемом, как и у *Q. robur*, в 17.00 (рис. 2).



Показатель	Отдельно растущие деревья					Деревья в насаждении				
	24	30	32	34	30	23	26	27	28	28
Температура, °С										
Влажность воздуха, %	50	35	25	25	27	53	39	32	28	35
Время проведения измерений, ч	9	11	13	15	17	9	11	13	15	17

Рис. 1. Интенсивность транспирации листьев *Q. robur* и *Q. rubra* в июне

Fig. 1. The intensity of *Q. robur* and *Q. rubra* leaves transpiration in June



Показатель	Отдельно растущие деревья					Деревья в насаждении				
	24	32	36	35	31	24	30	32	34	30
Температура, °С										
Влажность воздуха, %	41	29	25	21	23	50	35	28	25	30
Время проведения измерений, ч	9	11	13	15	17	9	11	13	15	17

Рис. 2. Интенсивность транспирации листьев *Q. robur* и *Q. rubra* в июле

Fig. 2. The intensity of *Q. robur* and *Q. rubra* leaves transpiration in July

В насаждении наблюдается одинаковая динамика процесса транспирации у обоих видов. Существенное она в 9.00, затем происходит постепенное падение с минимумом в 15.00 и последующим ростом в 17.00.

В насаждении дневная потеря влаги листьями у *Q. robur* ниже, чем у растений, растущих на открытом пространстве (в 1,8 и 3,7 раза соответственно), особенно в 11.00 и 13.00. У *Q. rubra* наблюдается такая же закономерность, однако в 13.00 интенсивность транспирации одинакова в обоих вариантах опыта, во все другие часы измерения, как и у *Q. robur*, она ниже в насаждении (рис. 2). Сравнение интенсивности транспирации листьев двух видов дуба свидетельствует о более высоких показателях этого процесса у *Q. robur*.

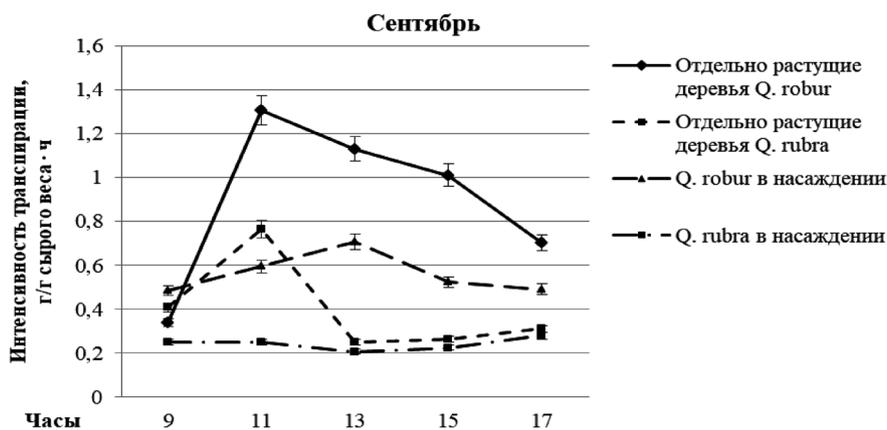
Интенсивность транспирации у обоих видов в июле по сравнению с июнем больше, особенно у *Q. robur*, что коррелирует с более высокой температурой и относительно низкой влажностью воздуха. Известно, что уровень испарения пропорционален дефициту влажности в атмосфере [27]. Другие авторы также отмечают, что при повышении температуры в определенных пределах увеличиваются затраты воды на транспирацию [15, 29–32].

В сентябре у растений открытого пространства максимум транспирации приходится у обоих видов на 11.00. Если в июле в самые жаркие часы (15.00) испарение воды листьями растений *Q. robur* значительно уменьшается, что свидетельствует о регулировании процесса транспирации, то в сентябре очень высокие показатели транспирации установлены как в полуденные, так и в послеполуденные часы (рис. 3).

Иначе реагирует на такие высокие температуры *Q. rubra*. У листьев этого вида после уменьшения данного показателя в 3,06 раза в 13.00 по сравнению с таковым в 9.00 интенсивность испарения воды статистически достоверно повышается в 17.00. У растений *Q. rubra*, растущих в насаждении, процесс транспирации протекает менее интенсивно, чем на открытом участке. У *Q. robur*, кроме утреннего часа (9.00), транспирация происходит менее интенсивно, а ее максимум сдвигается на 13.00. В насаждении, как и у отдельно растущих деревьев, большая интенсивность транспирации установлена у *Q. robur*, чем у *Q. rubra*.

В сентябре, несмотря на засушливую погоду и дальнейшее уменьшение запасов влаги в почве, отмечен рост интенсивности транспирации у листьев обоих видов дуба. В этот период показатели испарения воды более высокие, чем в предыдущие сроки измерения. Не наблюдается падения этого показателя в самый жаркий период дня, как в июле, что свидетельствует об ухудшении регулирования потери воды.

Н. А. Хлебникова, Н. И. Маркова [33] также указывают на отсутствие снижения интенсивности транспирации в самый жаркий период дня и отмечают значительный подъем кривой



Показатель	Отдельно растущие деревья					Деревья в насаждении				
	25	35	38	37	33	25	31	34	35	30
Температура, °С										
Влажность воздуха, %	39	27	23	19	21	44	33	25	23	26
Время проведения измерений, ч	9	11	13	15	17	9	11	13	15	17

Рис. 3. Интенсивность транспирации листьев *Q. robur* и *Q. rubra* в сентябре

Fig. 3. The intensity of *Q. robur* and *Q. rubra* leaves transpiration in September

транспирации при высоких температурах, близких к максимальным (выше 35 °С), у древесных пород вяза мелколистного, клена ясенелистного и лоха узколистного, сопровождающийся некоторой потерей устьичного регулирования транспирации и широким открытием устьиц, которое приводит к значительному повышению испарения влаги. М. А. Максимов [34] пришел к выводу, что широкое открытие устьиц под воздействием слишком высоких температур воздуха – явление патологическое и возможно только в особых условиях. Изучение нами дневного состояния устьиц также показало их широкое открытие у *Q. robur* даже в самые жаркие часы дня (13.00, 15.00), в то время как у *Q. rubra* степень открытия устьиц была значительно меньше (рис. 4).

Большие потери влаги листьями *Q. robur* при высоких температурах возможны и через кутикулу, хотя они в 9–10 раз меньше, чем потери влаги через устьица. В. Лархер [35], рассчитав потери воды срезанными листьями после закрытия устьиц (кутикулярная транспирация), установил, что у *Q. robur* ее потери составляют 110 мг/дм²·ч, в то время как у *Q. pubescens* – 40, у *Q. ilex* – 15, а у *Pinus sylvestris* – 13 мг/дм²·ч. Итак, *Q. robur* характеризуется значительно большими потерями воды через кутикулу, чем многие другие виды.

Однако необходимо учитывать, что испарение воды в условиях действия на растения таких высоких температур имеет и положительное значение, поскольку охлаждается поверхность листа. В то же время при закрытии устьиц хотя и уменьшаются потери воды, но повышается температура листа, что вызывает стресс и угнетение его роста [36].

Таким образом, интенсивность транспирации у листьев *Q. robur* преимущественно больше, чем у *Q. rubra*. В подавляющем большинстве измерений испарение воды у обоих видов в насаждении менее значительное, чем у отдельно растущих деревьев, что объясняется более высокой влажностью и меньшей температурой воздуха.

Величина водоудерживающей способности растений играет значительную роль в регулировании их водообмена. Как видно из табл. 1, потеря воды (в процентах к исходной массе) у растений открытого пространства в июне относительно небольшая у обоих видов, однако у *Q. robur* она выше, составляя через 30, 60 и 120 мин 256,5; 175,4 и 171,3 % от показателей потери воды у *Q. rubra* (рис. 5). Для растений в насаждении выявлена такая же закономерность. Аналогичная картина наблюдается и в другие сроки проведения исследований.

В июне водоудерживающая способность листьев обоих видов у растений в насаждении меньше, чем у растений открытого местообитания (табл. 1). В июле и сентябре этот показатель у листьев *Q. robur* больше в насаждении, количество потерянной воды высечками листьев после всех сроков их экспозиции (30, 60 и 120 мин) на воздухе значительно меньше, чем у образцов, отобранных с отдельно растущих деревьев. У листьев *Q. rubra* водоудерживающая способность в июле, как и в июне, больше у растений открытого пространства, а в сентябре – в насаждении, хотя различия между данными при различных условиях роста этого вида незначительные. Диапазон водного дефицита у листьев *Q. robur* открытого пространства составлял в пределах 29,9 %, в насаждении – 19,1 %, у *Q. rubra* – 10,9 и 12,37 % соответственно. Во все сроки исследования водоудерживающая способность выше у листьев *Q. rubra*, чем у листьев *Q. robur* (рис. 5).

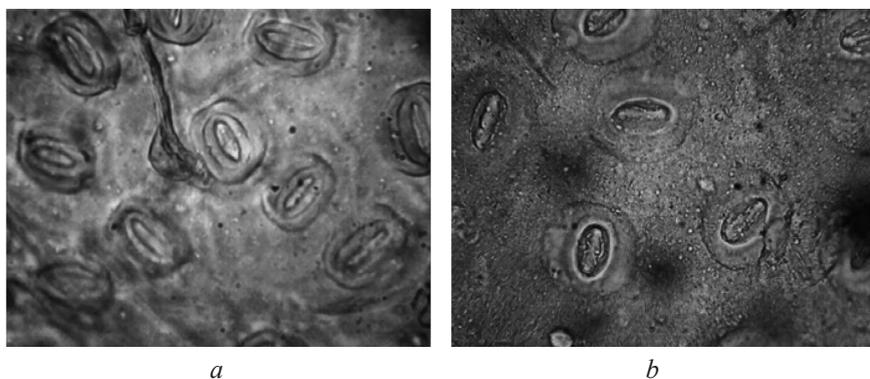


Рис. 4. Степень открытости устьиц нижнего эпидермиса листьев *Q. rubra* (a) и *Q. robur* (b). ×1000

Fig. 4. The opening degree stomata of leaf lower epidermis of *Q. rubra* (a) and *Q. robur* (b). ×1000

Таблица 1. Водоудерживающая способность листьев *Q. rubra* и *Q. robur*, потери ими воды (в % к начальной массе)

Table 1. Water-retaining capacity of *Q. rubra* and *Q. robur* leaves, loss of water (in % to original mass)

Вариант	Потери воды					
	через 30 мин	t_{ϕ}	через 60 мин	t_{ϕ}	через 120 мин	t_{ϕ}
12 июня						
Отдельные деревья: <i>Q. robur</i>	3,13 ± 0,27	5,88	6,35 ± 0,50	4,60	9,42 ± 0,76	3,92
<i>Q. rubra</i>	1,22 ± 0,18		3,62 ± 0,32		5,50 ± 0,22	
Деревья в насаждении: <i>Q. robur</i>	4,14 ± 0,33	2,72	8,70 ± 0,46	6,00	14,54 ± 1,22	5,50
<i>Q. rubra</i>	3,13 ± 0,17		5,33 ± 0,32		7,59 ± 0,30	
27 июля						
Отдельные деревья: <i>Q. robur</i>	13,02 ± 1,42	6,27	20,60 ± 1,05	8,49	25,42 ± 1,10	9,62
<i>Q. rubra</i>	3,93 ± 0,29		7,38 ± 1,15		10,99 ± 1,02	
Деревья в насаждении: <i>Q. robur</i>	9,61 ± 0,82	4,84	16,14 ± 1,12	6,40	19,66 ± 1,33	4,14
<i>Q. rubra</i>	5,49 ± 0,23		8,64 ± 0,34		12,37 ± 1,15	
5 сентября						
Отдельные деревья: <i>Q. robur</i>	18,32 ± 1,11	11,03	27,90 ± 1,17	14,75	29,93 ± 0,90	16,80
<i>Q. rubra</i>	5,86 ± 0,21		8,57 ± 0,59		9,48 ± 0,82	
Деревья в насаждении: <i>Q. robur</i>	7,15 ± 0,41	7,60	13,35 ± 0,90	7,01	16,15 ± 1,56	5,00
<i>Q. rubra</i>	3,50 ± 0,25		6,36 ± 0,43		7,78 ± 0,62	

Примечание. Здесь и в табл. 2 t_{ϕ} – критерий Стьюдента; разница между вариантами достоверна при $p \leq 0,05$ ($t_{\phi} = 2,776$).

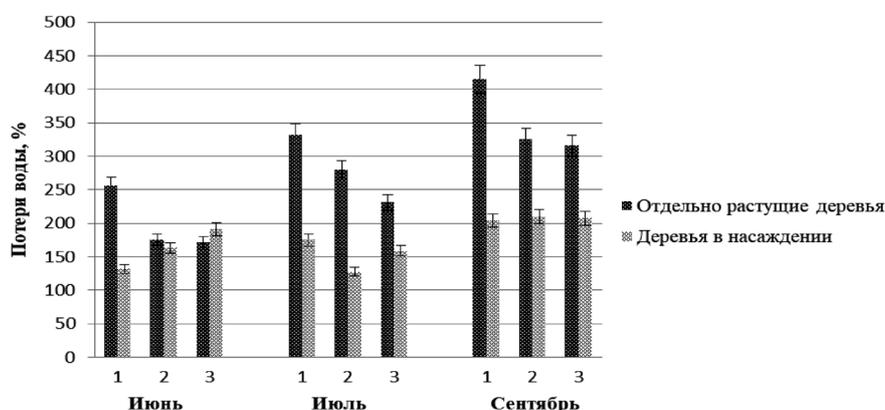


Рис. 5. Потеря воды листьями дуба обыкновенного относительно ее потери листьями дуба красного: 1 – через 30 мин, 2 – через 60 мин; 3 – через 120 мин

Fig. 5. Water loss by oak leaves relative to its loss by red oak leaves: 1 – 30 min; 2 – 60 min; 3 – 120 min

Водный дефицит в листьях проявляется с момента некомпенсированной отдачи ими воды, когда поглощение ее корнями отстает от интенсивности транспирации [37]. От степени выраженности водного дефицита зависит устойчивость как отдельных деревьев, так и насаждения в целом. У *Q. robur* водный дефицит листьев во все исследуемые сроки больше у растений в открытом пространстве, чем в насаждении. У *Q. rubra* этот показатель, наоборот, больше в насаждении (см. табл. 2). Сравнение показателя водного дефицита листьев обоих видов у отдельно растущих деревьев свидетельствует, что он меньше у *Q. rubra*, чем у *Q. robur*, что согласуется с более интенсивной отдачей листьями последнего влаги, но в насаждении наблюдается противоположная картина, несмотря на более интенсивную транспирацию и меньшую водоудерживающую способность у *Q. robur*.

Соотношение между поступлением воды в растения и расходом ее на процесс транспирации влияет на относительную тургоресцентность [15], которая во многом определяет процессы роста, поскольку скорость растяжения клеточных стенок является функцией тургорного давления [38, 39].

Как видно из табл. 2, относительная тургоресцентность листьев *Q. robur* больше в насаждении, а листьев *Q. rubra* – у отдельно растущих деревьев. Полученные результаты можно объяснить тем, что данный показатель зависит не только от испарения, но и в значительной степени от поступления воды через корневую систему [40]. Возможно, в насаждении *Q. rubra* хуже конкурирует за влагу в почве, чем *Q. robur*.

Таблица 2. Водный дефицит и относительная тургоресцентность листьев *Q. rubra* и *Q. Robur*

Table 2. Water deficiency and relative turbidity of leaves *Q. rubra* and *Q. Robur*

Вариант	Дефицит влаги, %	<i>t</i>	Относительная тургоресцентность
12 июня			
Отдельные деревья:			
<i>Q. robur</i>	17,11 ± 1,02	4,31	82,89
<i>Q. rubra</i>	11,49 ± 0,81		88,51
Деревья в насаждении:			
<i>Q. robur</i>	11,39 ± 1,26	4,85	88,61
<i>Q. rubra</i>	18,76 ± 0,85		81,24
27 июля			
Отдельные деревья:			
<i>Q. robur</i>	25,78 ± 1,03	6,81	74,22
<i>Q. rubra</i>	16,09 ± 0,98		83,91
Деревья в насаждении:			
<i>Q. robur</i>	13,80 ± 1,18	4,39	86,20
<i>Q. rubra</i>	20,24 ± 0,87		79,76
5 сентября			
Отдельные деревья:			
<i>Q. robur</i>	18,71 ± 0,67	3,11	81,29
<i>Q. rubra</i>	15,37 ± 0,84		84,63
Деревья в насаждении:			
<i>Q. robur</i>	14,87 ± 0,98	4,74	85,13
<i>Q. rubra</i>	22,00 ± 1,14		77,00

Заключение. В июне интенсивность транспирации в первой половине дня больше у *Q. robur* и *Q. rubra*, растущих в насаждении, во второй половине дня – у отдельно растущих деревьев *Q. robur*. В июле и сентябре в условиях высоких температур и меньшей влажности воздуха потери воды в процессе транспирации выше у растений открытого пространства. Интенсивность транспирации выше у листьев *Q. robur* как в насаждении, так и у отдельно растущих деревьев, и только в июне в первой половине дня в насаждении этот показатель больше у *Q. rubra*, чем у *Q. robur*.

Величина водоудерживающей способности значительно выше у листьев *Q. rubra*, чем у листьев *Q. robur*, как у отдельно растущих растений, так и в насаждении.

Показатели водного дефицита листьев у *Q. robur* открытого пространства превышают таковые у *Q. rubra*, а в насаждении, наоборот, они больше у *Q. rubra*. Противоположная закономерность характерна для относительной тургоресцентности. Такие результаты можно объяснить более слабой конкурентоспособностью за влагу *Q. rubra* в насаждении. По показателям водного режима *Q. rubra* является достаточно устойчивым видом в условиях засушливого климата степи Украины и по ряду из них не уступает *Q. robur*, что свидетельствует о возможности широкого использования этого интродукта в лесоразведении и озеленении населенных пунктов в этой зоне.

Список использованных источников

1. Фурдичко, О. І. Ліс у Степу: основи сталого розвитку / О. І. Фурдичко, Г. Б. Гладун, В. В. Лавров. – Київ : Основа, 2006. – 496 с.
2. Защитное лесоразведение в СССР / Б. А. Абакумов [и др.]; под ред. Е. С. Павловского. – М. : Агропромиздат, 1986. – 263 с.

3. Горейко, В. А. Теория и практика защитного лесоразведения в условиях степного Приднепровья / В. А. Горейко. – Днепропетровск : Пороги, 1996. – 228 с.
4. Івченко, А. І. Історія впровадження дуба червоного / А. І. Івченко // Науковий вісник : зб. наук.-техн. праць Укр. держ. лісотехн. ун-ту. – 2002. – Вип. 12.4. – С. 93–97.
5. Майборода, В. А. Поширення та особливості формування вікової структури насаджень дуба червоного бореального в Україні / В. А. Майборода // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – 2011. – Вип. 21.3. – С. 31–37.
6. Гвоздев, В. К. Особенности роста и продуктивность насаждений искусственного происхождения местных и интродуцированных древесных видов / В. К. Гвоздев, А. А. Хохлов // Тр. Белорус. гос. технол. ун-та. – 2016. – № 1. – С. 106–109.
7. Дубовицкая, О. Ю. Перспективы расширения устойчивого ассортимента древесных растений для ландшафтного строительства с использованием североамериканских интродуцентов [Электронный ресурс] / О. Ю. Дубовицкая, Л. И. Масалова // Соврем. садоводство. – 2013. – № 4. – Режим доступа : <http://www.journal.vniispk.ru/pdf/2013/4/10.pdf>. – Дата доступа : 12.12.2017.
8. Горб, А. С. Клімат Дніпропетровської області / А. С. Горб. – Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту, 2006. – 204 с.
9. Петухова, И. П. Эколого-физиологические основы интродукции древесных растений / И. П. Петухова. – М. : Наука, 1981. – 124 с.
10. Генкель, П. А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений / П. А. Генкель. – М. : Наука, 1982. – 280 с.
11. Жолкевич, В. Н. Энергетика дыхания высших растений в условиях водного дефицита / В. Н. Жолкевич. – М. : Наука, 1968. – 210 с.
12. Кушниренко, М. Д. Зависимость водоудерживающей способности и содержания пигментов в листьях плодовых растений от условий увлажнения / М. Д. Кушниренко, Т. Н. Медведова // Водный режим сельскохозяйственных растений : сб. ст. / отв. ред. Н. С. Петин. – М., 1969. – С. 322–332.
13. Гриненко, В. В. Значение регуляции водного баланса у растений в приспособлении и устойчивости их к природным условиям / В. В. Гриненко // Состояние воды и водный обмен культурных растений : сб. ст. / отв. ред. Н. С. Петин. – М., 1971. – С. 12–130.
14. Шматько, И. Г. Устойчивость растений к водному и температурному стрессам / И. Г. Шматько, И. А. Григорюк, О. Е. Шведова. – Київ : Наук. думка, 1989. – 224 с.
15. Григорюк, І. П. Водний і високотемпературний стреси. Молекулярні та фізіологічні механізми стійкості рослин / І. П. Григорюк, М. М. Мусієнко // Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть : у 2 т. / голов. ред. В. В. Моргун. – Київ, 2001. – Т. 2. – С. 118–129.
16. Бессонова, В. П. Некоторые особенности водного режима акации белой, произрастающей в разных условиях увлажнения / В. П. Бессонова, А. И. Корытова, О. Ф. Михайлов // Вопросы степного лесоведения и охраны природы : сб. науч. ст. / Днепропетр. гос. ун-т. – Днепропетровск, 1975. – Вып. 5. – С. 136–142.
17. Нестерова, Н. Г. Особливості водного режиму деревних видів рослин в екологічних умовах м. Київ / Н. Г. Нестерова, І. П. Григорюк // Збалансоване природокористування. – 2013. – № 2–3. – С. 89–95.
18. Ганиятулин, Р. Х. Водный дефицит древесных растений в различных экологических условиях / Р. Х. Ганиятулин, А. Ю. Кулагин // Изв. Саратов. ун-та. Сер. Химия. Биология. Экология. – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 57–64.
19. Иванов, А. А. О транспирации полезных пород в условиях Деркульской степи / А. А. Иванов, Ю. Л. Силина, Ю. Л. Цельникер // Ботан. журн. – 1952. – Т. 37, № 2. – С. 113–138.
20. Хлебникова, Н. А. Изучение сосущей силы растений в связи с режимом влажности и засолением почвы / Н. А. Хлебникова // Физиологические основы роста древесных растений : сб. ст. / отв. ред. Л. А. Иванов. – М., 1960. – С. 56–71.
21. Образцова, В. И. О транспирации и оводненности листьев древесных пород в различных типах искусственных лесных насаждений в степи / В. И. Образцова // Искусственные леса степной зоны Украины : сб. ст. / редкол. : Г. Б. Мельников (пред.) [и др.]. – Харьков, 1960. – С. 215–224.
22. Поспелова, Ю. С. Использование показателя водоудерживающей способности тканей для устойчивости сортов винограда к изменению природных факторов / Ю. С. Поспелова // Состояние воды и водный обмен у культурных растений : сб. ст. / отв. ред. Н. С. Петин. – М., 1971. – С. 246–250.
23. Transpiration of a boreal pine forest measured by branch bag, sapflow and micrometeorological methods / B. Saugier [et al.] // Tree Physiology. – 1997. – Vol. 17, N 8–9. – P. 511–519.
24. Transpiration and whole-tree conductance in ponderosa pine trees of different heights / M. G. Ryan [et al.] // Oecologia. – 2000. – Vol. 124, N 4. – P. 553–560.
25. Горохова, С. В. Интенсивность транспирации у некоторых представителей рода *Corylus* L. / С. В. Горохова // Науч. ведомости Белгород. гос. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2011. – Т. 14, № 3–1 (98). – С. 248–253.
26. Кузнецова, Т. А. Особенности адаптации растений *Padus racemosa* L. в различных климатических условиях / Т. А. Кузнецова, В. Н. Сорокопудов, Ю. В. Юшин // Изв. высш. учеб. заведений. Поволж. регион. Естеств. науки. – 2015. – № 3 (11). – С. 23–31.
27. Клеточные механизмы адаптации растений к неблагоприятным воздействиям экологических факторов в естественных условиях / Е. Л. Кордюм [и др.] ; под ред. Е. Л. Кордюм. – Киев : Наук. думка, 2003. – 277 с.
28. Бессонова, В. П. Практикум з фізіології рослин / В. П. Бессонова. – Дніпропетровськ : Дніпропетр. держ. аграр. ун-т., 2006. – 316 с.
29. Мушинская, О. А. Транспирация как основная часть водного режима растений и ее у видов рода *Populus* L. / О. А. Мушинская // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. – 2007. – № 6. – С. 95–99.

30. Peet, M. M. Physiological and anatomical effects of growth temperature on *Phaseolus vulgaris* / M. M. Peet, J. L. Ozbun, D. H. Wallace // *J. of Experimental Botany*. – 1977. – Vol. 28, N 1. – P. 52–69.
31. Miller, D. The two-dimensional energy budget of a forest edge with field measurements at a forest-parking lot interface / D. Miller // *Agr. Meteorology*. – 1980. – Vol. 22, N 1. – P. 53–78.
32. Turner, N. The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content / N. Turner, E. Schullze, T. Gollant // *Oecologia*. – 1984. – Vol. 63, N 3. – P. 338–342.
33. Хлебникова, Н. А. Водный режим, продуктивность транспирации и усвоение углекислоты древесными породами в условиях Прикаспийской низменности / Н. А. Хлебникова, М. И. Маркова // *Тр. Ин-та леса*. – 1955. – Т. 27. – С. 46–72.
34. Максимов, Н. А. Избранные работы по засухоустойчивости и зимостойкости растений: в 2 т. / Н. А. Максимов. – М. : Изд-во Акад. наук СССР, 1952. – Т. 1 : Водный режим и засухоустойчивость растений. – 576 с.
35. Лархер, В. А. Экология растений / В. А. Лархер. – М. : Мир, 1978. – 384 с.
36. Kjelgren, R. Urban tree transpiration over turf and asphalt surface / R. Kjelgren, T. Montague // *Atmospheric Environment*. – 1998. – Vol. 32, N 1. – P. 35–41.
37. Пахомова, Г. И. Водный режим растений / Г. И. Пахомова, Г. И. Безуглов. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1980. – 252 с.
38. Полевой, В. В. Физиология роста и развития растений / В. В. Полевой, Т. С. Саламатова. – Л. : Изд-во Ленинград. гос. ун-та, 1991. – 240 с.
39. Ray, P. M. Role of turgor in plant cell growth / P. M. Ray, P. B. Green, R. E. Cleland // *Nature*. – 1972. – Vol. 239, N 5368. – P. 163–164.
40. Emmert, F. H. Inhibition of phosphorus and water passage across intact roots by polyethylene glycol and phenylmercuric acetate / F. H. Emmert // *Plant Physiology*. – 1974. – Vol. 53, N 4. – P. 663–665.

References

1. Furdychko O., Hladun H., Lavrov V. *Wood in the desert: the foundations of sustainable development*. Kiev, Osnova Publ., 2006. 496 p. (in Ukrainian).
2. Pavlovski E. (ed.). *Protective afforestation in the USSR*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 263 p. (in Russian).
3. Goreyko V. *Theory and practice of protective afforestation in the conditions of the steppe Dnieper*. Dnepropetrovsk, Porogi Publ., 1996. 263 p. (in Russian).
4. Ivchenko A. The history of the introduction of red oak. *Naukovii visnik: zbornik nauково-tekhnichnikh prats' Ukrain's'kogo derzhavnogo lisotekhnichnogo universitetu* [Scientific Bulletin: a collection of scientific and technical papers of the Ukrainian State Forestry University]. 2002, Iss. 12.4, pp. 93–97 (in Ukrainian).
5. Majboroda V. Distribution and features of formation of the age structure of boreal red oak stands in the Ukraine. *Naukovii visnik NLTU Ukraini: zbornik nauково-tekhnichnikh prats' = Scientific Bulletin of UNFU of Ukraine*, 2011, Iss. 21.3, pp. 31–37 (in Ukrainian).
6. Gvozdev V., Khokhlov A. Growth peculiarities and plantings productivity of artificial origin local and introduced tree species. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Proceedings of the Belarusian State Technological University*, 2016, no. 1, pp. 106–109 (in Russian).
7. Dubovitskaya O., Masalova L. Prospects for expanding the sustainable range of woody plants for landscape construction using North American introducers. *Sovremennoe sadovodstvo = Contemporary Horticulture*, 2013, no. 4. Available at: <http://www.journal.vniispk.ru/pdf/2013/4/10.pdf> (accessed 12.12.2017) (in Russian).
8. Horb A. *Climate of Dnipropetrovsk region*. Dnipropetrovsk, Dnepropetrovsk National University Publ., 2006. 204 p. (in Ukrainian).
9. Petukhova I. *Ecological and physiological basis for the introduction of woody plants*. Moscow, Nauka Publ., 1981. 124 p. (in Russian).
10. Genkel P. *Physiology of heat and drought resistance of plants*, Moscow, Nauka Publ., 1982. 280 p. (in Russian).
11. Zholkevich V. *Energy of respiration of higher plants in conditions of water deficiency*, Moscow, Nauka Publ., 1968. 210 p. (in Russian).
12. Kushnirenko M., Medvedova T. Dependence of water-holding capacity and pigment content in leaves of fruit plants on moisture conditions. *Vodnyi rezhim selskokhozyaystvennykh rastenii: sbornik statei* [Water regime of agricultural plants: a collection of articles]. Moscow, 1969, pp. 322–332 (in Russian).
13. Hrynenko V. The importance of regulation of water balance in plants in adaptation and their resistance to natural conditions. *Sostoyaniye vody y vodnyi obmen kulturnykh rasteniy: sbornik statei* [State of water and water exchange of cultivated plants: a collection of articles]. Moscow, 1971, pp. 124–130 (in Russian).
14. Shmatko I., Grigoryuk I., Shvedova O. *Stability of plants to water and temperature stresses*. Kiev, Naukova dumka Publ., 1989. 224 p. (in Ukrainian).
15. Hryhoryuk I., Musiyenko M. Water and high temperature stress. The molecular and physiological mechanisms of plant resistance. *Fiziologiya roslyn v Ukraini na mezhi tysyacholit* [Plant Physiology in Ukraine at the turn of the millennium]. Kiev, 2001, vol. 2, pp. 118–129 (in Ukrainian).
16. Bessonova V., Korytova A., Mikhaylov O. Some features of the water regime of false acacia, growing in different conditions of moistening. *Voprosy stepnogo lesovedeniya i okhrany prirody: sbornik nauchnykh statei* [Questions of steppe forest science and nature conservation: a collection of scientific articles]. Dnepropetrovsk, 1975, no. 5, pp. 136–142 (in Russian).
17. Nesterova N., Hryhoryuk I. Features of water regime of woody species in environmental conditions of Kyiv. *Zbalansovane pryrodokorystuvannya* [Sustainable ecosystem exploitation], 2013, no. 2–3, pp. 89–95 (in Ukrainian).

18. Ganiyatulin R., Kulagin A. Water deficiency of woody plants in various environmental conditions. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Seriya Khimiya. Biologiya. Ekologiya* [Bulletin of the Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology Series], 2015, no. 15 (3), pp. 57–64 (in Russian).
19. Ivanov A., Silina Yu., Tselniker Yu. On transpiration of field-protecting species in the conditions of the Derkul steppe. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical Journal], 1952, vol. 37, no. 2, pp. 113–138 (in Russian).
20. Khlebnikova N. The study of the suction power of plants in connection with the regime of humidity and salinity of the soil. *Fiziologicheskie osnovy rosta drevesnykh rastenii: sbornik statei* [Physiological basis of growth of woody plants: a collection of articles]. Moscow, 1960, pp. 56–71 (in Russian).
21. Obraztsova V. On transpiration and watering of leaves of tree species in various types of artificial forest plantations in the steppe. *Iskustvennye lesa stepnoi zony Ukrainy: sbornik statei* [Artificial forests of the steppe zone of Ukraine: a collection of articles]. Kharkiv, 1960, pp. 215–224 (in Russian).
22. Pospelova Yu. The use of the indicator of the water-storage capacity of tissues for the resistance of grape varieties to changes in natural factors. *Sostoyaniye vody i vodnyi obmen u kulturnykh rasteniy: sbornik statei* [The state of water and water exchange in cultivated plants: a collection of articles]. Moscow, 1971, pp. 246–250 (in Russian).
23. Saugier B., Granier A., Pontailier J., Dufrière E., Baldocchi D. Transpiration of a boreal pine forest measured by branch bag, sapflow and micrometeorological methods. *Tree Physiology*, 1997, vol. 17, no. 8–9, pp. 511–519. DOI: 10.1093/treephys/17.8-9.511
24. Ryan M., Bond J., Law E., Hubbard M., Woodruff D., Cienciala E., Kucera J. Transpiration and whole-tree conductance in ponderosa pine trees of different heights. *Oecologia*, 2000, vol. 124, no. 4, pp. 553–560. DOI: 10.1007/s004420000403
25. Gorokhova S. Intensity of transpiration in some representatives of the genus *Corylus* L. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki* [Scientific bulletins of the Belgorod State University. Natural Sciences Series], 2011, vol. 14, no. 3–1 (98), pp. 248–253 (in Russian).
26. Kuznetsova T., Sorokopudov V., Yushin Yu. Peculiarities of adaptation of *Padus racemosa* L. plants in different climatic conditions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region. Estestvennye nauki* [Proceedings of higher educational institutions. The Volga region. Natural Sciences], 2015, no. 3 (11), pp. 23–31 (in Russian).
27. Kordyum E. L. (ed.). *Cellular mechanisms of plant adaptation to adverse effects of environmental factors in natural conditions*. Kiev, Naukova dumka Publ., 2003. 277 p. (in Russian).
28. Bessonova V. P. *Laboratory course of Plant Physiology*. Dnepropetrovsk, Dnipropetrovsk State Agrarian University Publ., 2006. 316 p. (in Ukrainian).
29. Mushinskaya O. Transpiration as the main part of the water regime of plants and its species in the genus *Populus* L. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State University], 2007, no. 6, pp. 95–99 (in Russian).
30. Peet M., Ozbun J., Wallace D. Physiological and anatomical effects of growth temperature on *Phaseolus vulgaris*. *Journal of Experimental Botany*, 1977, vol. 28, no. 1, pp. 52–69. DOI: 10.1093/jxb/28.1.57
31. Miller D. The two-dimensional energy budget of a forest edge with field measurements at a forest-parking lot interface. *Agricultural Meteorology*, 1980, vol. 22, no. 1, pp. 53–78. DOI: 10.1016/0002-1571(80)90028-x
32. Turner N., Schullze E., Gollant T. The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. *Oecologia*, 1984, vol. 63, no. 3, pp. 338–342. DOI: 10.1007/bf00390662
33. Khlebnikova N., Markova M. Water regime, productivity of transpiration and assimilation of carbon dioxide by wood species in the conditions of the Caspian lowland. *Trudy Instituta lesa* [Proceedings of Forest University], 1955, vol. 27, pp. 46–72 (in Russian).
34. Maksimov N. A. *Selected works on drought tolerance and winter hardiness of plants. Vol. 1. Water regime and drought resistance of plants*. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1952. 576 p. (in Russian).
35. Larkher V. *Ecology of plants*. Moscow, Mir Publ., 1978. 384 p. (in Russian).
36. Kjelgren R., Montague T. Urban tree transpiration over turf and asphalt surface. *Atmospheric Environment*, 1998, vol. 32, no. 1, pp. 35–41. DOI: 10.1016/s1352-2310(97)00177-5
37. Pakhomova G., Bezuglov G. *Water regime of plants*. Kazan, Kazan University Publ., 1980. 252 p. (in Russian).
38. Polevoy V., Salamatova T. *Physiology of plant growth and development*. Leningrad, Leningrad State University Publ., 1991. 240 p. (in Russian).
39. Ray P., Green P., Cleland R. Role of turgor in plant cell growth. *Nature*, 1972, vol. 239, no. 5368, pp. 163–164. DOI: 10.1038/239163a0
40. Emmert F. H. Inhibition of phosphorus and water passage across intact roots by polyethylene glycol and phenylmercuric acetate. *Plant Physiology*, 1974, vol. 53, no. 4, pp. 663–665. DOI: 10.1104/pp.53.4.663

Інформація об авторах

Бессонова Валентина Петровна – д-р біол. наук, професор, завідувач кафедри. Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет (ул. С. Ефремова, 25, 49600, г. Дніпр, Україна). E-mail: spg.dsaeu@gmail.com.

Криворучко Анастасія Петровна – аспірант. Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет (ул. С. Ефремова, 25, 49600, г. Дніпр, Україна). E-mail: uspeshna18@gmail.com.

Information about the authors

Valentina P. Bessonova – D. Sc. (Biol.), Professor, Head of the Department. Dnepropetrovsk State University of Agriculture and Economics (25, S. Efremov Str., 49600, Dnpr, Ukraine). E-mail: spg.dsaeu@gmail.com.

Anastasya P. Krivoruchko – Postgraduate student. Dnepropetrovsk State University of Agriculture and Economics (25, S. Efremov Str., 49600, Dnpr, Ukraine). E-mail: uspeshna18@gmail.com.