

УДК 581.4:581.5

Ю. А. Штирц

ИНФОРМАТИВНОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗРЕЗАННОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ *POPULUS NIGRA* L. В ПРИДОРОЖНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ГОРОДА

Государственное учреждение «Донецкий ботанический сад»

Проведено сравнение информативности двух показателей изрезанности для оценки морфологической изменчивости листовой пластинки *Populus nigra* L.: изрезанности как отношения периметра листовой пластинки к длине окружности, ограничивающей круг, площадь которого равна площади листовой пластинки, и изрезанности как отношения периметра листовой пластинки к её площади. Изрезанность как отношение периметра листовой пластинки к длине окружности, ограничивающей круг, площадь которого равна площади листовой пластинки, статистически достоверно возрастает в ряду: придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения свыше 1200 авт./час. – придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения 600–800 авт./час. – городской парк. Статистически достоверных различий показателя изрезанности, как отношения периметра листовой пластинки к её площади, между выборками листьев придорожных насаждений автодорог с различной интенсивностью движения транспорта и территории городского парка не выявлено. Отмечена слабая прямая корреляционная связь между двумя исследуемыми показателями изрезанности листовой пластинки *P. nigra*. Изрезанность как отношение периметра листовой пластинки к её площади характеризуется сильной обратной корреляционной связью с размерными параметрами листа, что существенно снижает информативность данного показателя. Отношение периметра листовой пластинки к длине окружности, ограничивающей круг, площадь которого равна площади листовой пластинки, является информативным показателем степени изрезанности листовой пластинки *P. nigra*.

Ключевые слова: листовая пластинка, изрезанность, морфологическая изменчивость, *Populus nigra* L., придорожные насаждения

Введение

Листовые пластинки многих видов растений обладают неровными краями. Функциональная значимость изрезанности листовой пластинки, причины возникновения и влияние факторов окружающей среды на степень проявления данного морфологического признака активно обсуждаются в различных литературных источниках.

Ряд исследователей указывают на существенную роль в формировании изрезанности листа температурного фактора [1, 2]. Листья с изрезанными краями характеризуются большей способностью к теплоотдаче, чем листья с цельными

краями [3]. D.L. Royer et al. [4] помимо влияния температурного фактора связывают адаптивную роль изрезанности листа с его толщиной. T.J. Givnish [5, 6], T.J. Givnish, R. Kriebel [7] указывают, что существенное влияние на характер изрезанности листа оказывают особенности расположения и строения жилок и толщина листовой пластинки. Приведены данные, согласно которым изрезанный край листа ряда видов растений играет важную роль в процессах фотосинтеза в начале периода вегетации [8, 9]. Существенна роль изрезанности листовой пластинки в процессах транспирации [9, 10] и гуттации [11]. Более или менее рассеченные листья облегчают

газообмен и теплоотдачу [10]. Весомым фактором в формировании изрезанности листа растений является доступность влаги. В условиях засоления почв, несмотря на достаточное количество влаги, уменьшается число видов, имеющих изрезанную листовую пластинку, ввиду того, что солевой стресс вызывает физиологическую засуху [2]. V. Brown, J. Lawton [12] указывают на то, что у некоторых видов растений изрезанность листа наряду с его размером и формой может быть эволюционным приспособлением, которое защищает от фитофагов. Существует точка зрения, согласно которой на изрезанность листовой пластинки влияет расположение примордиальных листьев внутри почки и особенности дальнейшего их роста внутри и вне почки [13, 14, 15].

Такая морфологическая особенность как изрезанность листа, по всей видимости, имеет различные причины возникновения в разных систематических группах и условиях произрастания, а также, вероятнее всего, возникла благодаря различным механизмам развития [16].

Цель и задачи исследований

Цель исследований – сравнение информативности двух показателей изрезанности для оценки морфологической изменчивости листовой пластинки *Populus nigra* L. в придорожных насаждениях г. Донецка.

Реализация поставленной цели предусматривала решение следующих задач:

- анализ варьирования показателей изрезанности листовой пластинки *P. nigra* в придорожных насаждениях города;
- оценка корреляционной связи между двумя исследуемыми показателями изрезанности листовой пластинки *P. nigra*;
- выбор наиболее информативного показателя изрезанности листовой пластинки *P. nigra* из двух сравниваемых.

Объекты и методики исследований

P. nigra встречается в биотопах различных типов, что даёт возможность исследовать морфологическую изменчивость листовой пластинки в условиях различных экологических факторов. Следует отметить существенную роль данного вида как эдификатора в условиях трансформированных экосистем [17], поэтому изучение различных аспектов его морфологической изменчивости как проявления устойчивости является актуальной задачей.

Материал собран в периоды листопада с 2012 по 2017 гг. в придорожных насаждениях г. Донец-

ка, расположенных вдоль автодорог с различной интенсивностью движения транспорта. Периоды листопада выбраны с целью рандомизации выборки. Сбор листьев осуществлялся с древесных растений зрелой стадии генеративного периода, находящихся в непосредственной близости от автомобильных дорог: расстояние от проезжей части до ствола дерева не превышало 1,5 м. Определение возрастного состояния деревьев проводилось по системе О. В. Смирновой и др. [18]. Ввиду того, что данный вид обладает высокой склонностью к гибридизации с близкородственными видами, выбирали экземпляры растений с чётко выраженными морфологическими признаками, подтверждающими видовую принадлежность.

Согласно С.В. Капанову [19], интенсивность автомобильного движения на участке автомагистрали – это количество автомобильных средств, прошедших данный участок за единицу времени в обоих направлениях. Принимая это во внимание, мерой интенсивности движения автотранспорта послужила средняя величина количества транспортных средств, проходящих через поперечное сечение дороги за 1 час в светлое время суток в обоих направлениях. Выделены две градации интенсивности движения транспорта на дорогах, вдоль которых располагались исследуемые участки насаждений: 1) свыше 1200 авт./час; 2) 600–800 авт./час (приведенные показатели автотранспортной нагрузки отражают средние круглогодичные показатели). Автомагистрали, в придорожных насаждениях которых осуществлялся сбор материала, располагались в кварталах многоэтажной жилой застройки города и имели асфальтобетонное покрытие. Для сравнения анализируемых параметров листовых пластинок *P. nigra* в придорожных насаждениях города с параметрами листовых пластинок данного вида из менее трансформированных экосистем, собраны листья на территории Центрального парка культуры и отдыха им. А.С. Щербакова. Данная территория принята нами в качестве условного контроля. Листья были отсканированы при помощи сканера Epson Perfection V33 с разрешением 300 пикселей на дюйм. Для оценки степени изрезанности листовой пластинки *P. nigra* использовали два подхода.

В первом случае показатель изрезанности рассчитывали как отношение периметра листовой пластинки P к длине окружности L , ограничивающей круг, по площади равный площади листа. С этой целью использовалась программа

Biological Pseudosymmetry (BioPS). Подробное описание расчёта данного показателя приведено в работе [20]. Изрезанность листа, рассчитанная с использованием программы BioPS, представляет собой безразмерную величину. В дальнейшем в тексте работы для удобства описания данный показатель приводится под названием «изрезанность как безразмерная величина».

Во втором случае изрезанность рассчитывали как отношение периметра листовой пластинки P к её площади S [21, 22, 23]. В этом случае изрезанность измеряется в мм^{-1} . В дальнейшем данный показатель приводится под названием «изрезанность, измеряемая в мм^{-1} ». Значения площади и периметра листовой пластинки, используемые для проведения вычислений согласно этой формуле, рассчитаны программой BioPS.

Таким образом, в вычислениях этих двух показателей изрезанности листовой пластинки реализованы несколько различающиеся между собой логические подходы. В настоящее время оба из этих показателей нашли своё применение в исследованиях [21, 22, 23, 24, 25, 26].

Размеры выборок при проведении исследований значительно превышали рекомендуемые минимальные объёмы, установленные соответствующими вычислениями. Минимальные размеры выборок для определения информативных средних показателей рассчитывали согласно рекомендациям, приведенным в работе Козлова М. В. [27], в частности с использованием формулы вычисления объёма выборки из бесконечной генеральной совокупности. Расчёт значений коэффициента и размаха вариации проводили по формулам, приведенным в работе Г. Ф. Лакина [28]. Оценка достоверности различий сравниваемых параметров проведена с использованием t -критерия Стьюдента. С целью оценки взаимосвязи исследуемых показателей между собой и с размерными показателями листовой пластинки проведён анализ методом ранговой корреляции Спирмена. Статистическая обработка данных проведена с применением пакета Statistica 6.0.

Результаты исследований и их обсуждение

Изрезанность листовой пластинки *P. nigra* анализируемых выборок как безразмерная величина варьирует от 1,2174 до 1,7787, коэффициент вариации составляет 5,58%, размах вариации – 0,5613. Изрезанность, измеряемая в мм^{-1} , варьирует от 0,0629 до 0,1933, коэффициент и размах вариации – 19,80% и 0,1304 соответственно.

Согласно расчётам, проведенным в соответствии с рекомендациями М. В. Козлова [27],

минимальные размеры выборок для определения информативных средних показателей изрезанности листовой пластинки как безразмерной величины составили 8 листьев, показателей изрезанности, измеряемой в мм^{-1} , – 100 листьев.

Листовые пластинки с минимальными и максимальными значениями исследуемых показателей отражены на рис. 1.

Следует отметить, что в исследуемых выборках минимальные значения исследуемых показателей отмечены для одной и той же листовой пластинки. Листовая пластинка с максимальным значением показателя изрезанности как безразмерной величины имеет показатель изрезанности, измеряемой в мм^{-1} , равный 0,0933, с максимальным значением показателя изрезанности, измеряемой в мм^{-1} , – показатель изрезанности как безразмерной величины, равный 1,5083.

Придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения свыше 1200 авт./час.

Изрезанность листовой пластинки как безразмерная величина варьирует от 1,2174 до 1,5963, размах вариации составляет 0,3789, коэффициент вариации – 6,31%, среднее значение – $1,4864 \pm 0,03108$ (здесь и далее указан доверительный интервал для $P = 0,05$). Изрезанность листовой пластинки, измеряемая в мм^{-1} , варьирует от 0,0629 до 0,1933, размах вариации – 0,1304, коэффициент вариации – 26,87%, среднее значение – $0,0959 \pm 0,00854$.

Придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения 600 – 800 авт./час.

Изрезанность листовой пластинки как безразмерная величина варьирует от 1,3779 до 1,7341, размах вариации составляет 0,3562, коэффициент вариации – 6,23%, среднее значение – $1,5434 \pm 0,03183$. Изрезанность, измеряемая в мм^{-1} , варьирует от 0,0751 до 0,1847, размах вариации – 0,1096, коэффициент вариации – 20,58%, среднее значение – $0,1043 \pm 0,00711$.

Городской парк (Центральный парк культуры и отдыха им. А.С. Щербакова).

Изрезанность как безразмерная величина варьирует от 1,4107 до 1,7787, размах вариации составляет 0,3680, коэффициент вариации – 3,91%, среднее значение – $1,6027 \pm 0,01486$. Изрезанность листовой пластинки, измеряемая в мм^{-1} , в условиях городского парка варьирует от 0,0769 до 0,1486, размах вариации – 0,0718, коэффициент вариации – 14,48%, среднее значение – $0,1016 \pm 0,00357$.

Оценка достоверности различий показателей изрезанности листовой пластинки *P. nigra* приведена в табл. 1 и 2.

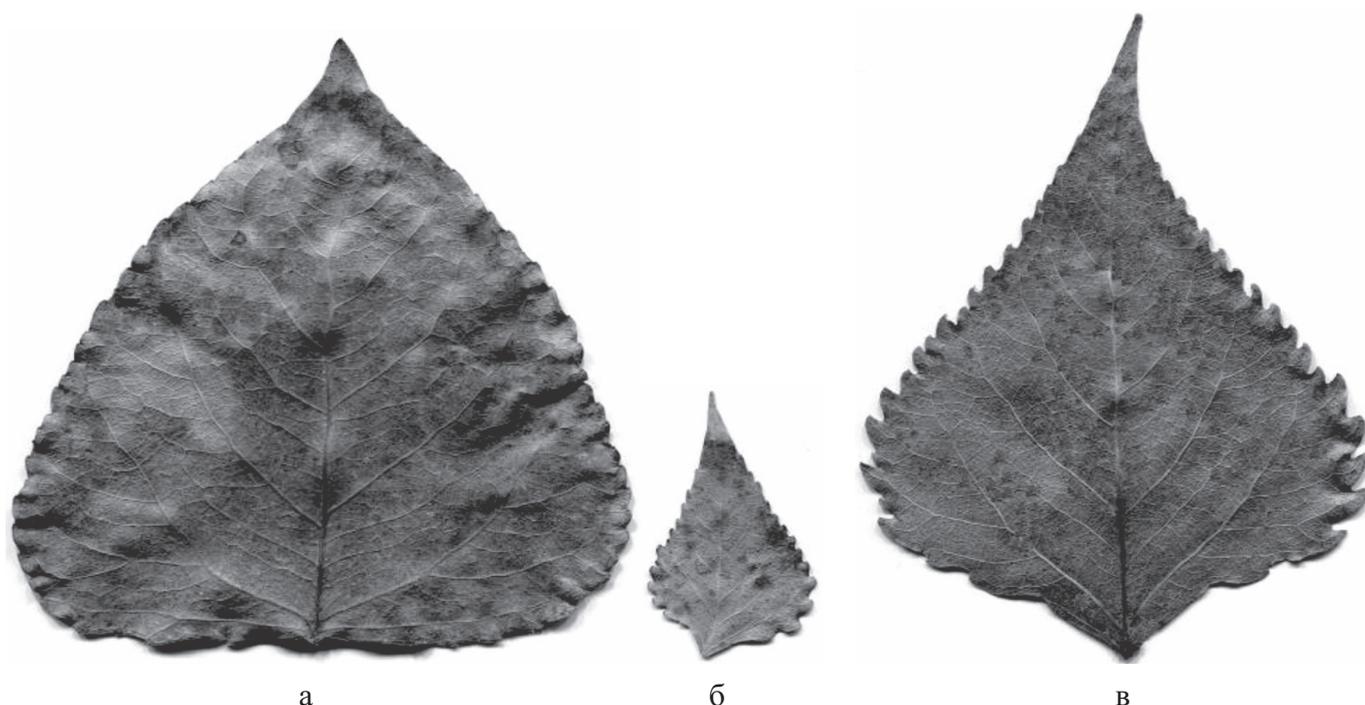


Рис. 1. Листовые пластинки *Populus nigra* L. с минимальными и максимальными значениями показателей изрезанности: а) с минимальными значениями двух анализируемых показателей изрезанности; б) с максимальным значением показателя изрезанности, измеряемой в мм^{-1} ; в) с максимальным значением показателя изрезанности как безразмерной величины.

Fig. 1. Leaf blades of *Populus nigra* L. with minimum and maximum values of the ruggedness: a) with the minimum values of two analyzed indices of ruggedness; b) with the maximum value of rupture index, measured in mm^{-1} ; c) with the maximum value of exponent of ruggedness as a dimensionless quantity.

Показатели изрезанности листовой пластинки как безразмерной величины статистически достоверно различаются при попарном сравнении всех анализируемых выборок и возрастают в ряду: придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения свыше 1200 авт./час. — придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения 600 – 800 авт./час. — городской парк (см. табл. 1). При сравнении анализируемых выборок по значению показателя изрезанности, измеряемой в мм^{-1} , статистически достоверных различий не выявлено (см. табл. 2).

Проведенный анализ методом ранговой корреляции Спирмена показал наличие статистически достоверной прямой связи между исследуемыми показателями изрезанности листовой пластинки – коэффициент корреляции составил 0,20 ($P = 0,020135$). Согласно классификации силы корреляции, приведенной в работе О. Ю. Ребровой [29], значение коэффициента корреляции ниже 0,25 свидетельствует о слабой корреляционной связи.

Проведен также анализ корреляции показателей изрезанности с размерными показателями

листовой пластинки: периметром и площадью. Результаты корреляционного анализа отражены в табл. 3.

Отмечена статистически достоверная прямая корреляция изрезанности как безразмерной величины с периметром листовой пластинки. Статистически достоверная корреляция данного показателя изрезанности с площадью листовой пластинки не выявлена (см. табл. 3).

Что касается изрезанности, измеряемой в мм^{-1} , отмечена статистически достоверная обратная корреляция данного показателя с площадью и периметром листовой пластинки *P. nigra*. Согласно работе О.Ю. Ребровой [29], значение коэффициента корреляции более 0,75 свидетельствует о сильной корреляционной связи, то есть корреляцию изрезанности, измеряемой в мм^{-1} , с площадью и периметром следует характеризовать как сильную. Корреляционную связь изрезанности как безразмерной величины с периметром листовой пластинки правильнее отнести к умеренной: значение коэффициента корреляции находится в пределах 0,25 – 0,75 (см. табл. 3).

ИНФОРМАТИВНОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗРЕЗАННОСТИ

Таблица 1. Оценка достоверности различий показателя изрезанности листовой пластинки *Populus nigra* L. как безразмерной величины.

Места сбора листьев	Придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения свыше 1200 авт./час.	Придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения 600–800 авт./час.	Городской парк
Придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения свыше 1200 авт./час.	1,4864 ± 0,03108**	0,014433*	0,000000*
Придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения 600–800 авт./час.	различия статистически достоверны***	1,5434 ± 0,03183**	0,003033*
Городской парк	различия статистически достоверны***	различия статистически достоверны***	1,6027 ± 0,01486**

Примечания: * – значение P, при котором отвергается нулевая гипотеза; ** – среднее значение изрезанности листовой пластинки (доверительный интервал указан для P = 0,05); *** – оценка достоверности различий.

Таблица 2. Оценка достоверности различий показателя изрезанности листовой пластинки *Populus nigra* L., измеряемой в мм⁻¹.

Места сбора листьев	Придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения свыше 1200 авт./час.	Придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения 600–800 авт./час.	Городской парк
Придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения свыше 1200 авт./час.	0,0959 ± 0,00854**	0,140045*	0,163112*
Придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения 600–800 авт./час.	различия статистически недостоверны***	0,1043 ± 0,00711**	0,445527*
Городской парк	различия статистически недостоверны***	различия статистически недостоверны***	0,1016 ± 0,00357**

Примечания: * – значение P, при котором отвергается нулевая гипотеза; ** – среднее значение изрезанности листовой пластинки, мм⁻¹ (доверительный интервал указан для P = 0,05); *** – оценка достоверности различий.

Таблица 3. Результаты анализа методом ранговой корреляции Спирмена размерных показателей и показателей изрезанности листовой пластинки *Populus nigra* L.

Параметры листовой пластинки	Изрезанность как безразмерная величина		Изрезанность, измеряемая в мм ⁻¹	
	Коэффициент корреляции Спирмена	Значение P	Коэффициент корреляции Спирмена	Значение P
Периметр, мм	0,41	0,000001	-0,76	0,000000
Площадь, мм ²	0,09	0,282427	-0,94	0,000000

Таким образом, значение изрезанности, измеряемой в мм⁻¹, значительно зависит от размерных параметров листовой пластинки, что существенно снижает информативность данного показателя.

Подводя итог изложенному выше, можно отметить, что анализируемые подходы к определению изрезанности листовой пластинки дают различные результаты. Применительно к *P. nigra* показатель изрезанности, измеряемой в мм⁻¹, показал низкую степень информативности. Вместе с тем, нет оснований утверждать о низкой информативности данного показателя в целом, речь идёт о его применении для анализа листовых пластинок именно *P. nigra*. Следует также обратить внимание на то, что у исследуемого вида изрезанность листовой пластинки ограничивается её краем. Понятие же изрезанности листовой пластинки, применяемое при морфологическом описании листьев различных видов растений значительно шире, чем изрезанность края.

Выводы

1. Изрезанность листовой пластинки *P. nigra* как отношение периметра листовой пластинки к длине окружности, ограничивающей круг, площадь которого равна площади листовой пластинки, находится в пределах от 1,2174 до 1,7787 и статистически достоверно возрастает в ряду: придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения свыше 1200 авт./час. – придорожные насаждения автодорог с интенсивностью движения 600–800 авт./час. – городской парк.

2. Изрезанность листовой пластинки *P. nigra* как отношение периметра листовой пластинки к её площади варьирует в пределах от 0,0629 до 0,1933 мм⁻¹. Статистически достоверных различий данного показателя изрезанности между выборками листьев придорожных насаждений автодорог с различной интенсивностью движения транспорта и территории городского парка не выявлено.

3. Изрезанность листовой пластинки *P. nigra* как отношение периметра листовой пластинки к длине окружности, ограничивающей круг, площадь которого равна площади листовой пластинки, характеризуется низкими значениями варьирования – коэффициент вариации составляет менее 10,00%. Изрезанность листовой пластинки как отношение периметра листовой пластинки к её площади характеризуется более высокими показателями варьирования, значение коэффициента вариации меняется от 14,48% до 26,87%. Коэффициент вариации двух рассматриваемых показателей изрезанности листовой пластинки ниже на территории парков в сравнении с придорожными насаждениями.

4. Отмечена слабая прямая корреляционная связь между двумя исследуемыми показателями изрезанности листовой пластинки *P. nigra*.

5. Изрезанность как отношение периметра листовой пластинки к её площади характеризуется сильной обратной корреляционной связью с размерными параметрами листа.

6. Отношение периметра листовой пластинки к длине окружности, ограничивающей круг, площадь которого равна площади листовой пластинки, является информативным показателем степени изрезанности листовой пластинки *P. nigra*.

1. Adams J.M., Green W.A., Zhang Y. Leaf margins and temperature in the North American flora: Recalibrating the paleoclimatic thermometer // Global and Planetary Change. 2008. Vol. 60. P. 523–534.
2. Royer D.L., Kooyman R.M., Little S.A., Wilf P. Ecology of leaf teeth: A multi-site analysis from an Australian subtropical rainforest // American Journal of Botany. 2009. Vol. 96. P. 738–750.
3. Gottschlich D.E., Smith A.P. Convective heat transfer characteristics of toothed leaves //

- Oecologia. 1982. Vol. 53(3). P. 418–420.
4. Royer D.L., Peppe D.J., Wheeler E.A., Niinemets Ü. Roles of climate and functional traits in controlling toothed vs. untoothed leaf margins // American Journal of Botany. 2012. Vol. 99. P. 915–922.
 5. Givnish T.J. Leaf and canopy adaptations in tropical forests // Physiological ecology of plants of the wet tropics. 1984. P. 51–84.
 6. Givnish T.J. On the adaptive significance of leaf form / Topics in plant population biology. New York: Columbia University Press, 1979. P. 375–407.
 7. Givnish T.J., Kriebel R. Causes of ecological gradients in leaf margin entirety: Evaluating the roles of biomechanics, hydraulics, vein geometry, and bud packing // American Journal of Botany. 2017. Vol. 104. P. 354–366.
 8. Baker-Brosch K.F., Peet R.K. The ecological significance of lobed and toothed leaves in temperate forest trees // Ecology. 1997. Vol. 78(4). P. 1250–1255.
 9. Royer D.L., Wilf P. Why do toothed leaves correlate with cold climates? Gas exchange at leaf margins provides new insights into a classic paleotemperature proxy // International Journal of Plant Sciences. 2006. Vol. 167. P. 11–18.
 10. Gates D.M. Energy exchange and ecology // Bioscience. 1968. Vol. 18. P. 90–95.
 11. Field T.S., Sage T.L., Czerniak C., Iles W.J.D. Hydathodal leaf teeth of *Chloranthus japonicus* (Chloranthaceae) prevent guttation-induced flooding of the mesophyll // Plant, Cell & Environment. 2005. Vol. 28. P. 1179–1190.
 12. Brown V., Lawton, J. Herbivory and the evolution of leaf size and shape // Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B, Biological Sciences. 1991. Vol. 333. P. 265–272.
 13. Bailey I.W., Sinnott E.W. The climatic distribution of certain types of angiosperm leaves // American Journal of Botany. 1916. Vol. 3. P. 24–39.
 14. Couturier E., Brunel N., Douady S., Nakayama N. Abaxial growth and steric constraints guide leaf folding and shape in *Acer pseudoplatanus* // American Journal of Botany. 2012. Vol. 99. P. 1289–1299.
 15. Edwards, E.J. Spriggs E.L., Chatelet D.S., Donoghue M.J. Unpacking a century-old mystery: Winter buds and the latitudinal gradient in leaf form // American Journal of Botany. 2016. Vol. 103(6). P. 975–978.
 16. Edwards E.J., Chatelet D.S., Spriggs E.L. et al. Correlation, causation, and the evolution of leaf teeth: A reply to Givnish and Kriebel // American Journal of Botany. 2017. Vol. 104 (4). P. 509–515.
 17. Штирц Ю.А., Штирц А.Д. Консортивные связи птиц с древесными автотрофами в условиях урбанизированного ландшафта Донбасса // Вісник Донецького університету. Сер. А.: Природн. науки. 2004. Вип. 1, ч. 2. С. 411–416.
Shtirts Yu.A., Shtirts A.D. Konsortivnye svyazi ptits s drevesnymi avtotrofami v usloviyakh urbanizirovannogo landshafta Donbassa [Consortive connections of birds with wood autotrophs in conditions of the urbanized landscape of Donbass] // Bulletin of Donetsk University. Natural science. 2004. Vol. 1(2). P. 411–416.
 18. Смирнова О.В., Заугольнова Л.Б., Таронова Н.А., Фаликов Л.Д. Критерии выделения возрастных состояний и особенности хода онтогенеза у растений различных биоморф // Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). М.: Наука, 1976. Ч. I. С. 14–43.
Smirnova O.V., Zaugolnova, L.B., Taronova, N.A., Falikov, L.D. Kriterii vydeleniya vuzrastnykh sostoyaniy i osobennosti khoda ontogeneza u rasteniy razlichnykh biomorf [Criteria for distinguishing age conditions and features of the ontogenesis course in plants of different biomorphs]. Moscow: Nauka, 1976. Part I. P. 14–43.
 19. Капранов С.В. Автотранспорт, воздух и здоровье. Луганск: ИПЦ «Лад», 1998. 200 с.
Kapranov, S.V. Avtotransport, vozdukh i zdorovye [Motor transport, air and health]. Lugansk: Lado, 1998. 200 p.
 20. Комплекс программных продуктов BioPS для автоматической количественной оценки степени псевдосимметрии растительных объектов). [Электронный ресурс]. URL: ecograde.belozersky.msu.ru/links/index.html
Kompleks programmnykh produktov BioPS dlya avtomaticheskoy kolichestvennoy otsenki stepeni psevdosimmetrii rastitelnykh obyektov) [Complex of BioPS software products for automatic quantification of the degree of pseudosymmetry of plant objects)]. [Electronic resource]. URL: <http://ecograde.belozersky.msu.ru/links/index.html>
 21. Крохмаль И.И. Эколого-функциональная морфология листа видов рода *Aquilegia* L. // Ecology and noospherology. 2014. Vol. 25, N 1–2. P. 46–60.

- Krokhmal I.I.* Ekologo-funktsionalnaya morfologiya lista vidov roda *Aquilegia* L. [Ecological and functional leaf morphology of species of the genus *Aquilegia* L.] // Ecology and noospherology. 2014. Vol. 25(1–2). P. 46–60.
22. *Крохмаль І.І.* Еколого-біологічні детермінанти успішності інтродукції трав'янистих багаторічників в степовій зоні України: автореф. дис. ... д-ра біол. наук. Київ, 2016. 53 с.
- Krokhmal I.I.* Ekologo-biologichni determinanty uspishnosti introduktsii travyanistykh bagatorichnykiv v stepoviy zoni Ukraini: avtoref. dis...d-ra biol. nauk [Ecological and biological determinants of the introduction success of herbaceous perennials in the steppe zone of Ukraine: extended abstract of the Doctor (Biol.) dissertation]. Kyiv, 2016. 53 p.
23. *Sack L., Cowan P.D., Jaikumar N., Holbrook N.M.* The 'hydrology' of leaves: coordination of structure and function in temperate woody species // *Plant, Cell & Environment*. 2003. Vol. 26. P. 1343–356.
24. *Штирц Ю.А.* Морфологическое разнообразие листовых пластинок *Populus nigra* L. в условиях промышленных отвалов // Промышленная ботаника: сб. науч. тр. Донецк: Донецкий ботанический сад НАН Украины, 2013. Вып. 13. С. 116–124.
- Shtirts, Yu.A.* Morfologicheskoe raznoobrazie listovykh plastinok *Populus nigra* L. v usloviyakh promyshlennykh otvalov [Morphological diversity of leaf blades of *Populus nigra* L. in conditions of industrial dumps] // *Industrial Botany*. 2013. Vol. 13. P. 116–124.
25. *Штирц Ю.А.* Морфологические параметры листовой пластинки *Betula pendula* Roth в условиях придорожных территорий автотранспортных магистралей г. Донецка // Интродукция, збереження та моніторинг рослинного різноманіття. Матер. Міжнар. наук. конф. (Київ, 20–24 травня 2014 р.). К.: Паливода А.В., 2014. С. 217–218.
- Shtirts, Yu.A.* Morfologicheskie parametry listovoy plastinki *Betula pendula* Roth v usloviyakh pridorozhnykh territoriy avtotransportnykh magistralei g. Donetska [Morphological parameters of *Betula pendula* Roth leaf blade in conditions of roadside territories of motor roads in Donetsk] // *Introduktsiya, zberezhennya ta monitoring roslynnogo riznomanittya*. Mater. Mizhnar. nauk. konf. (Kiev, 20–24 travnya 2014 r.). Kiev: Palyvoda A.V. 2014. P. 217–218.
26. *Штирц Ю.А.* Изменчивость степени изрезанности края листовой пластинки *Populus nigra* L. в условиях промышленных отвалов // *Acta Biologica Sibirica*. 2017. Vol. 3 (2). P. 46–51.
- Shtirts, Yu.A.* Izmenchivost stepeni izrezannosti kraia listovoy plastinki *Populus nigra* L. v usloviyakh promyshlennykh otvalov [Variability of degree ruggedness of edge *Populus nigra* L. leaf blade in the conditions of industrial dumps] // *Acta Biologica Sibirica*. 2017. Vol. 3 (2). P. 46–51.
27. *Козлов М.В.* Планирование экологических исследований: теория и практические рекомендации. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 171 с.
- Kozlov, M.V.* Planirovanie ekologicheskikh issledovaniy: teoriya i prakticheskie rekomendatsii [Planning of ecological research: theory and practical recommendations]. Moscow: Tovari-chshestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2014. 171 p.
28. *Лакин Г.Ф.* Биометрия: уч. пос. для биол. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
- Lakin, G.F.* Biometria [Biometrics]. Moscow: Vysshaya shkola, 1990. 352 p.
29. *Реброва О.Ю.* Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М.: МедиаСфера, 2002. 312 с.
- Rebrova, O.Yu.* Statisticheskiy analiz meditsinskikh dannykh. Primenenie paketa prikladnykh programm STATISTICA [Statistical analysis of medical data. Application of the STATISTICA software package]. Moscow: MediaSfera, 2002. 312 p.

Поступила в редакцию 18.01.2018

UDC 581.4:581.5

INFORMATIVE VALUE OF RUGGEDNESS INDICATORS FOR ESTIMATION OF MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF *POPULUS NIGRA* L. LEAF BLADE IN ROADSIDE PLANTATIONS OF DONETSK

Yu.A. Shtirts

Public Institution «Donetsk Botanical Garden»

This study compares the informative value of two indices of ruggedness for assessing the morphological variability of the leaf blade of *Populus nigra* L., namely ruggedness as the ratio of leaf perimeter to the circumference, limiting a circle equal to the area of leaf blade; and ruggedness as the ratio of the perimeter of the leaf blade to its area. The ruggedness as the ratio of the leaf perimeter to the circumference, limiting the circle with the area equal to leaf area, increases significantly in the row: roadside plantations along highways with a traffic intensity of over 1200 aut./hr. – roadside plantations of highways with traffic intensity 600–800 aut./hr. – city Park. The study detected no statistically significant differences in the indicator of ruggedness, as the ratio of leaf perimeter to its area, between leaf samples from roadsides with different traffic intensity and city park. A weak direct correlation between two investigated indices of leaf ruggedness of *P. nigra* is observed. The ruggedness as a ratio of the leaf perimeter to its area is characterized by a strong inverse correlation relationship with the dimensional parameters of the leaf, which significantly reduces the informative value of this index. The ratio of the perimeter of the leaf blade to the circumference limiting the circle with the area equal to leaf is an informative indicator of the degree of leaf ruggedness of the *P. nigra*.

Key words: leaf blade, ruggedness, morphological variability, *Populus nigra* L., roadside plantations