

Ю.А. Штирц

## ПРОЯВЛЕНИЕ ОНТОГЕНЕТИЧЕСКОЙ ТАКТИКИ В ФОРМИРОВАНИИ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ *BETULA PENDULA* ROTH

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Донецкий ботанический сад»

Проведена оценка онтогенетической тактики формирования морфологических признаков листовой пластинки *Betula pendula* Roth в экологических условиях города. При отклонении условий произрастания от оптимальных для *B. pendula* выявлена дивергентная онтогенетическая тактика признаков, характеризующих форму листовой пластинки: показателя удлиненности, показателя относительного расположения самой широкой части, отношения ширины листовой пластинки в ее срединной части к максимальной ширине, числовых индексов формы верхушки и основания. Выявленную онтогенетическую тактику следует считать адаптивной.

**Ключевые слова:** листовая пластинка, морфологическая изменчивость, онтогенетическая тактика, флуктуирующая асимметрия, *Betula pendula*, экология города, корреляция

**Цитирование:** Штирц Ю.А. Проявление онтогенетической тактики в формировании морфологических признаков листовой пластинки *Betula pendula* Roth // Промышленная ботаника. 2025. Вып. 25, № 1. С. 49–55. DOI: 10.5281/zenodo.15182262

### Введение

Изучение особенностей онтогенеза растений позволяет выявить механизмы адаптации и эволюции, толерантности видов к изменяющимся внешним факторам, что вносит вклад в понимание стратегий жизни растений [17]. Адаптивные процессы растений, вызванные условиями произрастания, приводят к существенным перестройкам ассимилирующего аппарата, который является высокочувствительным к внешним воздействиям и обладает высокой пластичностью, ввиду чего морфологические изменения листа представляют собой функциональный ответ на факторы окружающей среды [23, 25]. Онтогенетические тактики определяются характером внешнего воздействия на популяции растений. Набор онтогенетических тактик является конкретным выражением индивидуального-физиологического аппарата, поддержива-

ющего популяцию вида в оптимальном для данного фитоценоза состоянии. Разнообразие форм онтогенетических тактик позволяет видам растений оптимизировать условия жизнедеятельности отдельных особей путем либо их дифференциации, либо путем унификации [5, 8].

### Цель и задачи исследований

Целью исследований являлось изучение онтогенетической тактики формирования морфологических признаков листовой пластинки *Betula pendula* Roth в экологических условиях города.

Для реализации поставленной цели был проведен анализ корреляции коэффициентов вариации морфологических признаков листовой пластинки *B. pendula* с показателями асимметрии в различных условиях произрастания на территории г. Донецка.

**Объекты и методики исследований**

*Betula pendula* широко применяется в Российской Федерации при формировании лесопарковых насаждений и лесополос [11]. Согласно данным А.К. Полякова [14], участие данного вида в насаждениях г. Донецка составляет 1,8 %.

Для *B. pendula* отмечена повышенная устойчивость к ряду веществ, выбрасываемых в атмосферу промышленными предприятиями, ввиду чего указанный вид успешно произрастает в городах с неблагоприятной экологической обстановкой [11].

Исследованию морфологической изменчивости данного вида посвящено значительное количество работ [6, 11, 15, 19, 21, 22, 24 и др.]. Отмечено, что внешние факторы оказывают существенное воздействие на морфологическую структуру листа *B. pendula* и ее вариабельность [15], в частности, условия городской среды приводят к значительному размаху популяционно-биоразнообразия данного вида [21].

Сбор листьев осуществляли в 2021–2024 гг. с нижней части кроны древесных растений зрелой стадии генеративного периода (определение возрастного состояния деревьев проводили по системе О.В. Смирновой и др. [18]). Местами сбора материала послужили территории г. Донецка с различной степенью антропогенной трансформации: отвалы угольных шахт, придомовые участки в кварталах многоэтажной жилой застройки, придорожные насаждения автомагистралей, городские парки, ФГБНУ Донецкий ботанический сад. Общий объем выборки составил более 1500 листовых пластинок.

Измерения линейных и угловых параметров листовой пластинки проводили в программе TPSDig 2.10. Проанализирована изменчивость следующих морфологических показателей листовой пластинки: длина, ширина листовой пластинки в середине ее длины, максимальная ширина, показатель удлиненности, показатель относительного расположения самой широкой части, отношение ширины листовой пластинки в ее срединной части к максимальной ширине, числовые индексы формы верхушки и основания.

Длину листовой пластинки измеряли как расстояние между точками начала и окончания

срединной жилки, ширину (в середине длины и максимальную) как длину отрезка, проведенного перпендикулярно срединной жилке. Вычисление показателя относительного расположения самой широкой части и показателя удлиненности проводили в соответствии с методикой, изложенной в работе В.Н. Исакова и др. [9].

Для количественной оценки формы верхушки и основания листовой пластинки использовали коэффициенты, рассчитанные согласно методике Т.Н. Гендельс, Л.Ю. Буданцева [4]. Вычисление значений коэффициентов основано на рассмотрении листовой пластинки в виде плоскостной замкнутой фигуры, наложенной на сетку полярных координат с центром в точке, делящей пополам срединную жилку листа. Радиус-векторы проводятся под определенным постоянным углом (выбранная нами угловая мера составила 20°) до пересечения с линией абриса фигуры. Коэффициент формы верхушки представляет собой соотношение длин нулевого и последующего за ним первого радиус-векторов, коэффициент формы основания – соответственно восьмого и девятого [4]. В нашей работе применялась указанная методика с незначительными изменениями. Ввиду того, что в ряде случаев срединная жилка листовой пластинки искривлена, по причине чего проведение всех радиус-векторов под углом фиксированной величины не представляется возможным, обязательным условием было проведение нулевого радиус-вектора от центра к верхушке, девятого – от центра к месту прикрепления черешка, первого – под углом 20° к нулевому, восьмого – под углом 20° к девятому. Остальные радиус-векторы не проводились. Принимая во внимание присутствие асимметрии, расчет коэффициентов проведен с левой и правой сторон листовой пластинки, затем проведено вычисление среднего арифметического.

Показатель асимметрии рассчитывали в соответствии с методикой, указанной в работе В.М. Захарова и др. [7].

Следует также отметить, что анализируемые параметры морфологии листовой пластинки существенно различаются у различ-

ных исследователей. Так, например, в работе Т.В. Жуйковой, А.С. Поповой [6] для исследования онтогенетических тактик в формировании морфологических показателей листовой пластинки данного вида использованы следующие параметры: длина боковой жилки, угол между главной и боковой жилками первого порядка, расстояние от верхушки до самой широкой части листовой пластинки, длина листовой пластинки и черешка, индекс листовой пластинки и индекс листа, расстояние между концами и основаниями боковых жилок, ширина листовой пластинки и ширина половины листовой пластинки, расстояние от самой широкой части до основания листовой пластинки.

Статистическая обработка проведена с использованием пакета прикладных программ STATISTICA 6.0. Коэффициент вариации рассчитан по Г.Ф. Лакину [12].

Методические подходы к применению и интерпретации указанных статистических параметров взяты из работы О.Ю. Ребровой [16].

#### Результаты исследований и их обсуждение

Доверительные интервалы и коэффициенты вариации размерных параметров и параметров формы листовой пластинки *B. pendula* отражены в таблицах 1–2.

С целью оценки онтогенетической тактики формирования анализируемых признаков проведен корреляционный анализ коэффициента вариации признаков с показателем асимметрии. Результаты корреляционного анализа отражены в таблице 3.

Анализируя данные таблицы 3 в соответствии с грациями, приведенными в работе

О.Ю. Ребровой [16], следует отметить сильную либо умеренную положительную корреляцию для всех показателей, характеризующих форму листовой пластинки (показатель удлиненности листовой пластинки, показатель относительного расположения самой широкой части, отношение ширины листовой пластинки в ее срединной части к максимальной ширине, числовой индекс формы верхушки и основания) с показателем асимметрии.

Т.В. Жуйкова, А.С. Попова [6] на основании выбранных ими параметров указывают, что в структуре листа данного вида присутствуют признаки, которым свойственны различные типы онтогенетических тактик, как чистых, так и комбинированных.

Принимая во внимание, что показатель флуктуирующей асимметрии листовой пластинки исследуемого вида выше в случае более выраженного негативного воздействия внешней среды [1–3, 10, 13, 19, 20, 24 и др.], значимая положительная корреляция с показателем асимметрии свидетельствует о возрастании изменчивости признака с ухудшением условий произрастания.

Дестабилизацию признака, о чем свидетельствует возрастание коэффициента вариации, можно трактовать как поиск путей морфологической адаптации [17]. Учитывая подходы к оценке типов онтогенетических тактик [6, 8, 17], можно утверждать, что при отклонении условий произрастания от оптимальных нами отмечена дивергентная онтогенетическая тактика признаков, характеризующих форму листовой пластинки *B. pendula*.

**Таблица 1.** Доверительные интервалы и коэффициенты вариации размерных параметров листовой пластинки *Betula pendula* Roth

Параметр листовой пластинки	Доверительный интервал, мм (для P = 0,05)	Коэффициент вариации, %
Длина	66,1±5,18	20,6
Максимальная ширина	49,7±4,55	23,3
Ширина в середине длины	35,6±3,20	24,1

**Таблица 2.** Доверительные интервалы и коэффициенты вариации параметров, характеризующих форму листовой пластинки *Betula pendula* Roth

Параметр листовой пластинки	Доверительный интервал (для P = 0,05)	Коэффициент вариации, %
Показатель удлиненности листа	1,9±0,14	20,6
Показатель относительного расположения самой широкой части	0,7±0,05	11,3
Отношение ширины листовой пластинки в ее срединной части к максимальной ширине	0,7±0,06	13,8
Числовой индекс формы верхушки	1,8±0,12	11,6
Числовой индекс формы основания	0,9±0,05	8,2

**Таблица 3.** Результаты корреляционного анализа вариабельности морфологических показателей с асимметрией листовой пластинки *Betula pendula* Roth

Параметр листовой пластинки	Корреляция коэффициента вариации с показателем асимметрии
Длина	-0,13
Максимальная ширина	0,12
Ширина в середине длины	-0,24
Показатель удлиненности листа	0,83
Показатель относительного расположения самой широкой части	0,50
Отношение ширины листовой пластинки в ее срединной части к максимальной ширине	0,51
Числовой индекс формы верхушки	0,53
Числовой индекс формы основания	0,67

**Выводы**

Большинство из анализируемых морфологических признаков листовой пластинки *B. pendula* характеризуются средним варьированием: значение коэффициента вариации находится в диапазоне 11–25 %. Слабое варьирование выявлено для числового индекса формы основания – коэффициент вариации не превышает 10 %.

При отклонении условий произрастания от оптимальных для *B. pendula* выявлена дивергентная онтогенетическая тактика признаков, характеризующих форму листовой пластинки: показателя удлиненности, показателя относительного расположения самой широкой части, отношения ширины листовой пластинки в ее

срединной части к максимальной ширине, числовых индексов формы верхушки и основания. Данная онтогенетическая тактика является адаптивной.

Выявленные закономерности способствуют пониманию общей стратегии адаптивности растительных организмов к условиям городской среды.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ Донецкий ботанический сад по теме «Интродукционное изучение растений мировой флоры и их полифункциональное использование в степной зоне» (Регистрационный № 123101300192-1).*

1. Баранов С.Г. Определение уровня стабильности развития березы повислой морфогеометрическим методом // Известия РАН. Серия Биологическая. 2017. N 5. С. 567–572.
2. Баранов С.Г., Бибик Т.С., Ильин Л.И. Точность измерения и направленная асимметрия в листовых пластинках *Betula pendula* Roth // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2017. N 2(44). С. 14–20.
3. Гавриков Д.Е., Баранов С.Г. Методика оценки стабильности развития на примере березы (*Betula pendula*) // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2006. N 2(48). С. 13–17.
4. Гендельс Т.В., Буданцев Л.Ю. Изучение изменчивости формы листовой пластинки *Populus deltoides* (Salicaceae) с помощью числового индекса // Ботанический журнал. 1991. Т. 76, N 5. С. 747–752.
5. Егорова Н.Ю. Онтогенетические тактики и стратегии выживания *Oxycoccus palustris* Pers. в болотных экосистемах таежной зоны (Кировская область) // Известия Саратовского университета. Серия Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, Вып. 4. С. 473–480.
6. Жуйкова Т.В., Попова А.С. Онтогенетические тактики морфологических признаков листа *Betula pendula* Roth в градиенте техногенной трансформации почв при изменяющихся погодных условиях // Самарский научный вестник. 2022. Т. 11, N 4. С. 30–38.
7. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
8. Злобин Ю.А. Принципы и методы изучения ценологических популяций растений. Казань: Изд-во Казанского университета, 1989. 146 с.
9. Исаков В.Н., Висковатова Л.И., Лейшовник Я.Я. Исследование морфологии листа древесных средствами автоматизации. Рига: Зинатне, 1984. 195 с.
10. Кабанова С.А., Кочегаров И.С., Кабанов А.Н., Данченко М.А., Шахматов П.Ф., Борцов В.А., Скотт С.А. Антропогенное влияние на стабильность развития лесных культур березы повислой *Betula pendula* Roth в зеленой зоне г. Астаны // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2024. Т. 19, N 1. С. 155–164.
11. Кондратьев М.Н., Сторожева Е.В., Ларикова Ю.С. Онтогенез фотоассимиляционного аппарата *Betula pendula* Roth в естественных фитоценозах // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2012. N 33. С. 90–93.
12. Лакин Г.Ф. Биометрия: учебное пособие для биологических специальностей вузов. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
13. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). 2003. Утверждены распоряжением Росэкологии от 16 октября 2003 года N 460-р. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901879474> (дата обращения 01.11.2024 г.).
14. Поляков А.К. Интродукция древесных растений в условиях техногенной среды. Донецк: Ноулидж. Донецкое отделение, 2009. 268 с.
15. Попова А.С. Морфологическая структура и изменчивость листа *Betula pendula* Roth в градиентах техногенной трансформации почвы и погодных условий: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 1.5.15. Экология (биологические науки). Нижний Новгород, 2023. 24 с.
16. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М.: Медиа Сфера, 2002. 312 с.
17. Сафаргалина А.Т., Хусаинова С.А., Ишбирдин А.Р. Проявления стратегий жизни *Atriplex patula* L. в онтогенезе // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, N 5(2). С. 112–114.
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.
19. Солдатова В.Ю., Шадрин Е.Г., Новгорова Д.Н. Биоиндикационная оценка качества среды административных округов г. Якутска по показателям флуктуирующей асимметрии и качества семян березы повислой *Betula pendula* Roth // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18, Вып. 2. С. 216–224.
  20. Тупицына М.А., Олькова А.С., Адамович Т.А. Оценка экологического состояния парков и скверов г. Кирова по флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula* Roth (березы повислой) и содержанию тяжелых металлов в почве // Экология родного края: проблемы и пути их решения. Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Киров, 24–25 апреля 2023 г.). Киров, 2023. Т. 1. С. 275–278.
  21. Турмухаметова Н.В. Особенности морфогенеза побегов и феноритмов *Betula pendula* Roth и *Tilia cordata* Mill. в условиях городской среды: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 Экология. Новосибирск, 2005. 19 с.
  22. Oleksyn J., Żytkowiak R., Reich P.B., Tjoelker M.G., Karolewski P. Ontogenetic patterns of leaf CO<sub>2</sub> exchange, morphology and chemistry in *Betula pendula* trees // Trees. 2000. Vol. 14, Iss. 5. P. 271–281.
  23. Scheepens J.F., Frei E.S., Stöcklin J. Genotypic and environmental variation in specific leaf area in a widespread Alpine plant after transplantation to different altitudes // Oecologia. 2010. Vol. 164, No 1. P. 141–150.
  24. Turmukhametova N., Turmukhametov D. Use of morphometric and phenological indicators of *Betula pendula* Roth for environmental health assessment // E3S Web of Conference. II International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development (ETESD-II 2023). 2023. Vol. 443, 05011. 5 p.
  25. Zhongqiang L., Dan Y. Factors affecting leaf morphology: A case study of *Ranunculus natans* C.A. Mey. (Ranunculaceae) in the arid zone of northwest China // Ecological Research. 2009. Vol. 24, Iss. 6. P. 1323–1333.

Поступила в редакцию: 15.11.2024

UDC 582.632.1:58.02:57.042

**MANIFESTATION OF THE ONTOGENETIC TACTICS IN FORMATION OF  
MORPHOLOGICAL INDICATORS OF THE LEAF BLADE IN *BETULA PENDULA* ROTH**

**Yu.A. Shtirts**

*Federal State Budgetary Scientific Institution  
«Donetsk botanical garden»*

The paper assesses the ontogenetic tactics of formation of morphological indicators of the leaf blade of *Betula pendula* Roth in the environmental conditions of the city. When growing conditions deviated from the optimal for *B. pendula*, a divergent ontogenetic tactics of features characterizing the leaf blade shape, namely elongation indicator, correlation indicator of the widest part location, correlation of leaf blade width in its middle part to the maximum width, numerical indicators of the apex and base shape was revealed. The revealed ontogenetic tactics should be considered adaptive.

**Key words:** leaf blade, morphological variability, ontogenetic tactics, fluctuating asymmetry, *Betula pendula*, city environment, correlation

---

**Citation:** Shtirts Yu.A. Manifestation of the ontogenetic tactics in formation of morphological indicators of the leaf blade in *Betula pendula* Roth // Industrial Botany. 2025. Vol. 25, N 1. P. 49–55. DOI: 10.5281/zenodo.15182262

---