УДК 574.2:58.02:581.45

Ю.А. ШТИРЦ,
кандидат биологических наук

Донецкий ботанический сад НАН Украины

ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ ЛИНЕЙНЫХ БИЛАТЕРАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ *BETULA PENDULA* ROTH. В ЭКОСИСТЕМАХ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Відзначено флуктуючий характер асиметрії для п'яти жилок листкової пластинки Betula pendula Roth. Доведено, що значення асиметрії довжини окремо взятих жилок не дозволяє диференціювати різні рівні антропогенної трансформації екосистем. Результати проведеного дискриминантного аналізу вказують на протилежні тенденції змін інтенсивності асиметрії лінійних білатеральних ознак листкової пластинки.

Возможность получить интегральную характеристику качества среды, находящейся под воздействием всего многообразия физических, химических и других факторов, дают только биологические методы, так как именно живые организмы несут максимальную информацию об окружающей их среде обитания. Из всего многообразия известных методов биоиндикационных исследований, пожалуй, наиболее полноценным можно считать флуктуирующую асимметрию [1]. Проблема симметрии (асимметрии) биологических объектов является одной из фундаментальных в современной биологии. Симметричным называется объект, который состоит из частей, равных относительно какого-либо признака. Проверить равенство объектов или частей системы можно с помощью некоторого преобразования, которое совмещает равные объекты или части одного и того же объекта. Это означает, что объекты либо инвариантны относительно некоторых преобразований пространства, либо нет. В природе чаще всего встречаются лишь приблизительно симметричные объекты, об инвариантности которых относительно операций симметрии также можно говорить лишь приблизительно [2].

Под флуктуирующей асимметрией понимают незначительные и случайные (ненаправленные) отклонения от строгой билатеральной симметрии биообъектов [3]. Флуктуирующую асимметрию организмов по билатеральным признакам можно рассматривать как случайное макроскопическое событие, заключающееся в независимом проявлении либо на левой, либо на правой, либо на обеих сторонах тела, но в разной степени выраженных признаков, являющихся итогом стохастических микроскопических процессов [2]. На макроскопическом уровне данный тип асимметрии можно использовать в качестве меры в оценке стабильности развития организма [4, 5]. Флуктуирующая асимметрия позволяет определить нарушения развития, происходящие на основе одного и того же генотипа [11]. Уровень оказывается минимальным лишь при определенных (оптимальных) условиях среды и неспецифически возрастает при любых стрессовых воздействиях [2]. П.А. Парсонс [10] определяет флуктуирующую асимметрию как эпигенетическую меру стресса. В качестве показателей стабильности развития обычно рассматривают нарушения развития (фенодевиации) и онтогенетический шум [4].

Одним из ключевых направлений в исследовании флуктуирующей асимметрии является выбор, идентификация билатеральных признаков и верификация их флуктуирующего характера у организмов разных видов [2].

Целью наших исследований являлась

оценка характера асимметрии линейных билатеральных признаков листовой пластинки *Betula pendula* Roth. в экосистемах с различной степенью антропогенной трансформации.

Материалы и методы. Исследования проводили на материале, собранном в летний период 2010 г. на территории г. Донецка и прилегающей пригородной зоны. Были охвачены следующие экосистемы: полезащитная лесополоса (окрестности с. Степное Донецкой области); древесные насаждения на территории Донецкого ботанического сада НАН Украины; придорожные полосы в пределах многоэтажной жилой застройки города, прилегающие к автодорогам с интенсивностью движения 1200–1300 транспортных средств в час в обоих направлениях в светлое время суток (ул. Университетская) и интенсивностью движения 600–700 транспортных средств в час (ул. Р. Люксембург); террикон шахты 5/6 на территории города. Листья собирали с нижней части кроны древесных растений зрелой стадии генеративного периода. Возрастное состояние деревьев определяли по системе О.В. Смирновой и др. [6]. Для анализа были выбраны определенные параметры левой и правой сторон листовой пластинки (рис. 1).

Асимметрия бывает трех типов: направленная, флуктуирующая и антисимметрия

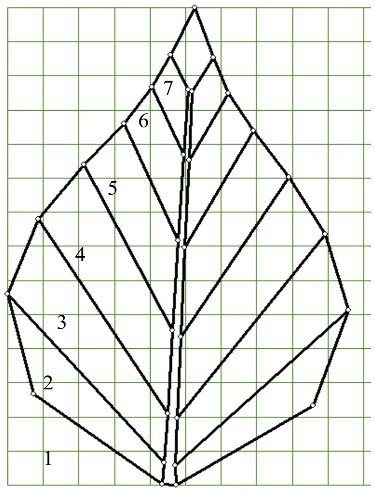

Рис. 1. Исследуемые билатеральные признаки листовой пластинки Betula pendula: *1 – расстояние от места прикрепления черешка до ближайшего зубчика базальной части листовой пластинки; 2–7 – боковые жилки (нумерация проведена от основания листовой пластинки к верхушке)*

[8]. Из них только по проявлению флуктуирующей асимметрии можно получить некоторую информацию об уровне стресса, испытываемого организмом [7]. Поэтому прежде чем приступить к количественной

1. Статистический анализ нормальности распределения морфометрических признаков листовой пластинки Betula pendula

Признак*	Статистические критерии				
	Колмогорова–Смирнова		Шапиро–Уилка		Лиллиефорса
	d	*p*	*W*	*p*	*p*
1	0,04	> 0,2	0,99	0,74	> 0,2
2	0,04	> 0,2	0,99	0,97	> 0,2
3	0,07	> 0,2	0,98	0,41	> 0,2
4	0,09	> 0,2	0,98	0,26	< 0,1
5	0,07	> 0,2	0,97	0,12	> 0,2
6	0,07	> 0,2	0,98	0,59	> 0,2
7	0,07	> 0,2	0,97	0,03	> 0,2

* Здесь и далее: 1 – расстояние от места прикрепления черешка до ближайшего зубчика базальной части листовой пластинки; 2–7 – боковые жилки (нумерация проведена от основания листовой пластинки к верхушке).

2. Статистический анализ направленности симметрии и коэффициенты корреляции дискриминантных функций и значений асимметрии билатеральных признаков листовой пластинки Betula pendula (критерий Уилкоксона) при объеме выборки 95

Признак*	*T*	*Z*	*p*-уровень	Функция 1	Функция 2
1	461,00	6,75	0,00	0,12	–0,28
2	2037,00	0,90	0,37	0,16	0,45
3	2099,00	0,67	0,50	–0,02	0,18
4	1827,00	1,68	0,09	0,41	0,13
5	1140,00	4,23	0,00	–0,26	0,27
6	2109,00	0,63	0,53	0,01	–0,46
7	2143,00	0,51	0,61	0,31	–0,72

оценке нестабильности развития организма по показателям билатеральных признаков, необходимо убедиться во флуктуирующем характере асимметрии каждого признака из выбранного набора [2]. Направленная асимметрия отличается от флуктуирующей тем, что значение признака на одной из сторон в среднем больше, чем на другой. Антисимметрия имеет место, когда проявление асимметрии признака является нормой, при этом не имеет значения, в какую сторону направлено различие между сторонами. Статистически это выражается в том, что частоты отклоняются от нормального распределения в сторону отрицательного эксцесса или бимодальности [3, 8, 9]. Анализ распределения значений признаков проводили с использованием тестов Колмогорова–Смирнова, Шапиро–Уилка, Лиллиефорса. Для выявления направленной асимметрии было проведено сравнение полученных измерений на правой и левой сторонах с помощью критерия Уилкоксона.

С целью поиска признака, динамика асимметрии которого в наибольшей степени дифференцирует места произрастания B. pendula по степени антропогенной трансформации, проводили дискриминантный анализ. Оценку возможности использования показателей асимметрии отдельно взятых признаков при проведении биоиндикации устанавливали с помощью дисперсионного анализа Краскелла–Уоллиса влияния условий места произрастания на асимметрию признаков. Для статистической обработки данных применяли пакет STATISTICA 6.0.

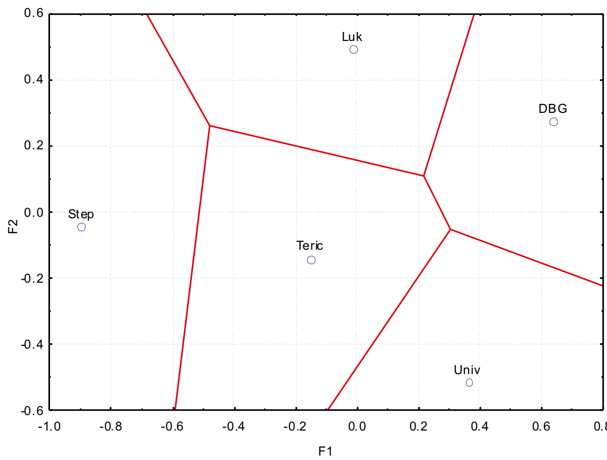

Рис. 2. Расположение мест произрастания Betula pendula в пространстве первых двух дискриминантных функций: *Step – полезащитная лесополоса в пригородной зоне (окрестности с. Степное Донецкой области); DBG – территория Донецкого ботанического сада; Univ – придорожные полосы на ул. Университетской; Luk – придорожные полосы на ул. Р. Люксембург; Teric – террикон шахты 5/6*

3. Дисперсионный анализ Краскелла–Уоллиса влияния места произрастания Betula pendula на асимметрию признаков листовой пластинки

Признак*	H	*p*-уровень
1	3,61	0,46
2	6,82	0,14
3	8,18	0,08
4	7,55	0,11
5	4,78	0,31
6	4,64	0,33
7	5,17	0,27

Автор выражает искреннюю благодарность д.б.н. А.В. Жукову (Днепропетровский аграрный университет) за научные консультации и помощь в обработке материала.

Результаты исследования и их обсуждение. Данные табл. 1, свидетельствуют о том, что частоты распределения значений длины анализируемых билатеральных признаков соответствуют нормальному распределению. Таким образом, антисимметрия признаков не выявлена.

В соответствии с данными табл. 2, направленный характер асимметрии отмечен для первого (расстояние от места прикрепления черешка до ближайшего зубчика базальной части листовой пластинки) и пятого (длина четвёртой жилки) признаков. Для остальных из числа анализируемых признаков не установлено статистически значимых различий в величине признака на левой и правой сторонах листовой пластинки, то есть имеют место флуктуации асимметрии признака вокруг нулевого среднего, что является диагностическим признаком флуктуирующей асимметрии.

Анализируя значения коэффициентов дискриминантных функций, отметим, что наиболее значимы показатели асимметрии длины жилки, находящейся на верхушке листовой пластинки. Важно также, что дискриминантные функции учитывают противоположные тенденции динамики интенсивности асимметрии (рис. 2).

Вместе с тем, анализ Краскелла–Уоллиса не показал достоверных отличий значений асимметрии отдельных признаков в зависимости от места произрастания *B. pendula* (табл. 3).

Выводы

Асимметрия длины жилок листовой пластинки B. pendula диагностирована как флуктуирующая. Анализ асимметрии по каждому признаку в отдельности неинформативен с позиций фитоиндикации, так как не дифференцирует различные уровни антропогенных преобразований экосистем. Отмечены противоположные тенденции динамики интенсивности асимметрии анализируемых билатеральных признаков листовой пластинки.

Библиография

1. *Будилов В.В.* Флуктуирующая асимметрия членистоногих биоценозов правобережья реки Сура / *В.В. Будилов, А.Ю. Исайкин* // Актуальные проблемы биологии, экологии, методики преподавания и педагогики. – Саранск, 2009. – С. 10–13.

2. Статистический анализ флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков разноцветной ящерицы *Eremias argute* / [*Д.Б. Гелашвили, В.Н. Якимов, В.В. Логинов, Г.В. Епланова*] // Актуальные проблемы герпетологии и токсинологии: сб. науч. трудов. – Тольятти, 2004. – Вып. 7. – С. 45–59.

3. *Захаров В.М.* Асимметрия животных / *В.М. Захаров*. – М.: Наука, 1987. – 216 с.

4. *Захаров В.М.* Онтогенез и популяция (стабильность развития и популяционная изменчивость) / *В.М. Захаров* // Экология. – 2001. –№ 3. – С. 177–191.

5. Здоровье среды: методика оценки. Оценка состояния природных популяций по стабильности развития: методологическое руководство для заповедников / [*В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов и др.*]. – М. : Центр экологической политики России, 2000. – 66 с.

6. Критерии выделения возрастных состояний и особенности хода онтогенеза у растений различных биоморф / [*О.В. Смирнова, Л.Б. Заугольнова, Н.А. Таронова, Л.Д. Фаликов*] // Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). – М. : Наука, 1976. – Ч. I. – С. 14–43.

7. *Moller A.P.* Asymmetry, developmental stability and evolution / *A.P. Moller, J.P. Swaddle*. – Oxford: Oxford Univ. Press, 1997. – 291 p.

8. *Palmer A.R.* Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns / *A.R. Palmer, C. Strobeck* // Ann. Rev. of Ecol. and Systematics. – 1986. – Vol. 17. – P. 391–421.

9. *Palmer A.R.* Fluctuating asymmetry analysis revisited / *A.R. Palmer, C. Strobeck* // Developmental instability (DI): causes and consequences. – Oxford: Oxford University Press, 2003. – 484 p.

10. *Parsons P.A.* Fluctuating asymmetry: an epigenetic measure of stress / *P.A. Parsons* // Biol. Rev. – 1990. – Vol. 65. – P. 131–145.

11. *Thoday J.M.* Homeostasis in a selection experiment / *J.M. Thoday* // Heredity. – 1958. – Vol. 12, № 4. – P. 401–415.