

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ У МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИСТА БЕРЕЗЫ

Кашина Л.Л.

Научный руководитель док. биол. наук Гаевский Н.А.

*Сибирский федеральный университет*

Флуктуирующая асимметрия (ФА) формообразующих количественных характеристик у билатерально симметричных листьев растений (включая березу) широко используется для биоиндикации существующего отрицательного влияния на организм растения биотических и абиотических факторов. С помощью разработанных разными авторами шкал количественные показатели ФА листа березы позволяют оценить относительное качество окружающей среды. Для оценки асимметрии листа требуется проведение трудоемких измерений многих размерных показателей на левой и правой частях листа, количество промеренных листьев должно быть достаточным для последующего статистического анализа, обычно от пятидесяти до ста штук.

Целью данного исследования было совершенствование метода ФА применительно к листу березы на основе современных методов анализа цифровых изображений листа и компьютеризированных расчетов показателей ФА, в результате которого может быть повышена точность и сокращено время измерений параметров листа, а также расширен список возможных морфологических показателей.

Листья березы ( $n=111$ ) были собраны в березовой роще г. Красноярска, в середине июля 2013 с пяти концевых веток у различных взрослых деревьев. Цифровое изображение нижней стороны листа получали с помощью сканера (оттенки серого, 300 dpi). На листовой пластинке выделили 28 точек, соответствующие положению начала и конца боковых жилок первого порядка, трех точек в основании листа, конца листа. Координаты 28 точек определяли с помощью программы «ImageJ 1.42» для Windows. На основе координат точек рассчитывали следующие размерные показатели отдельно для левой и правой части листовой пластинки: площадь, расстояние между соседними боковыми жилками в их основании, длину боковых жилок, угол между боковой и центральной жилками. Уровень ФА определяли по формуле  $K_{ФА} = 2 \times (L - R) / (L + R)$ , где  $L$  и  $R$  размеры (величины) симметрично расположенных элементов листа. Для обработки данных использовали программы Excel и Statistica.

Площадь листовой пластинки изменялась от 3,5 до 21,1 см<sup>2</sup>, распределение величин было нормальным, средняя площадь составляла  $11,0 \pm 0,4$ ,  $C_v = 35,4\%$ . Все показатели асимметрии были проверены на «нормальность» и соответствие критерию «флуктуирующая». Все расчетные значения  $K_{ФА}$  с высокой степенью достоверности прошли тест на «нормальность» распределения и соответствие критерию «флуктуирующий», согласно которому отсутствуют достоверные различия у средних значений  $K_{ФА}$  от нуля.

Была рассмотрена зависимость  $K_{ФА}$  от площади ( $S$ ) листовой пластинки. При  $n=111$  значение  $r^2 > 0,04$  в модельной регрессии  $K_{ФА} = a \times S + b$  показывает наличие достоверного линейного тренда. Ни один из рассчитанных  $K_{ФА}$  не показал зависимости от  $S$  листа ( $0,000 < r^2 < 0,02$ ).

Абсолютные величины  $K_{ФА}$  показаны на рисунке. Наибольшие величины  $K_{ФА}$  установлены для расстояния между основаниями первой и второй боковой жилками листа и длинами шестой пары боковых жилок (ряд 1,  $0,167 \pm 0,013$  и  $0,164 \pm 0,014$ ). Сравнительно низкие значения  $K_{ФА}$  показали величины длины первой – второй пар боковых жилок (ряд 2,  $0,067 \pm 0,004$ ,  $0,051 \pm 0,004$  и  $0,062 \pm 0,004$ ). Значения  $K_{ФА}$  для угла

между боковой и центральной жилками занимали промежуточное положение от 0,094 до 0,118 (ряд3).

Кроме численных, видны различия  $K_{ФА}$  в зависимости положения морфологического параметра относительно основания листа. Ряд 1 характеризуется выраженным минимумом в средней части, ряд 2 линейным ростом от третьего к шестому элементу, ряд 3 – отсутствием существенных различий. Для сравнения следует указать, что  $K_{ФА}$  для левой и правой площадей листа был равен  $0,073 \pm 0,005$ , т.е. ниже, многих из рассчитанных показателей ФА.

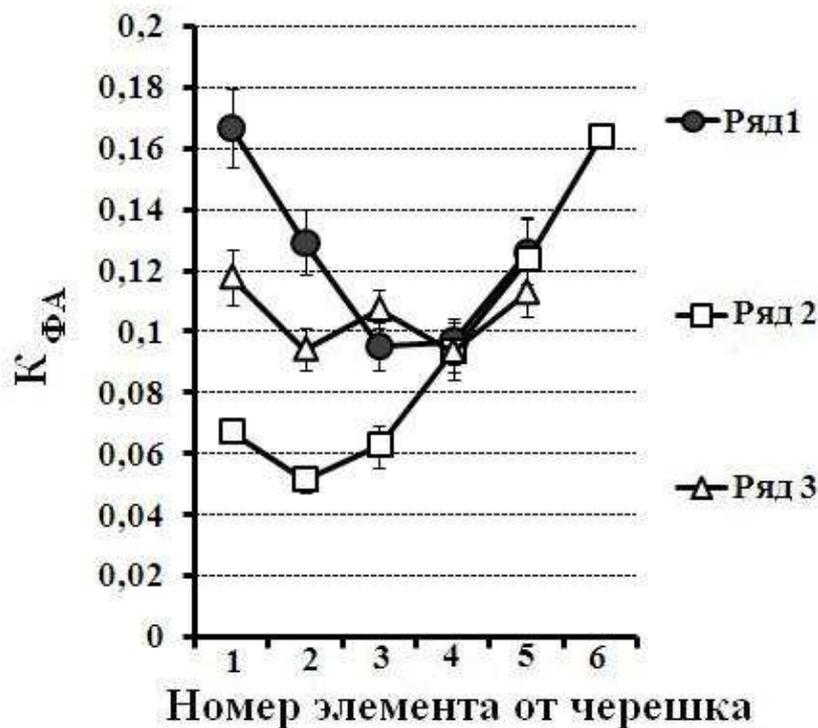


Рисунок – Коэффициенты флуктуирующей асимметрии у морфологических показателей листа березы в зависимости от их положения относительно основания листа. Ряд 1 – расстояние между основаниями боковых жилок, ряд 2 – длина боковых жилок, ряд 3 – угол между боковой и центральной жилками.

Для выбора информативных показателей ФА необходимо, чтобы между ними не было тесной связи. Эта задача была решена на основе парных и частных корреляций. Среди изученных морфологических показателей можно предложить четыре  $K_{ФА}$ , полученные на основе оценки симметрии левой и правой площадей листа, длины четвертой от основания жилки, расстояния между пятой и шестой жилками и угла между центральной и первой жилкой.

Предложенный набор показателей отличается от рекомендованного в литературе, но его выбор в определенной степени аргументирован. В тоже время, требуется дополнительная оценка «качества» выбранного параметра по его способности реагировать на изменение экологической ситуации в зоне произрастания тестовых растений. Для этого могут потребоваться дополнительные морфологические параметры, которые можно определить на основе использованных в работе ключевых морфологических маркеров листа березы.