

МЕТОДИКА ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ФЛЮКТУЮЧОЇ АСИМЕТРІЇ ЛИСТКІВ ДЕРЕВНИХ ВИДІВ В ПРОМИСЛОВИХ РЕГІОНАХ (на прикладі берези повислої (*Betula pendula* Roth))

В.М. Савосько

*доцент кафедри ботаніки та екології,
кандидат біологічних наук, доцент
Криворізький педагогічний інститут ДВНЗ «КНУ»*

Вступ. Останнім часом визначення параметрів стану довкілля лише за допомогою інструментальних методів багатьма дослідниками вважається досить трудомісткими/дорогими та недостатньо точними. Тому, на їх думку, перспективними є використання методів фітоіндикації, які дають змогу з'ясувати інтегральний ефект дії всіх екологічних факторів. Крім цього, такі методи також дозволяють прогнозувати наслідки як еволюційних природних процесів, так і антропогенного втручання людини [1, 2, 4].

Серед методів фітоіндикації стану довкілля сучасних промислових регіонів провідними фахівцями вважається перспективним використання показників морфології листків деревних рослин, зокрема їх флюктууючої асиметрії. Як відомо, рослинам властива закономірність формування окремих органів на основі білатеральної симетрії. Тобто така симетрія є ознакою оптимального і стабільного стану організму, а відхилення від неї — це індикатор впливу стресових факторів на рослину [3, 4]. Також слід зазначити, що показники флюктууючої асиметрії зростають при зниженні життєвості організмів під впливом негативних факторів. Загалом, показники флюктууючої асиметрії листків деревних рослин придатні для біоіндикації якості середовища існування людини, в тому числі й території сучасних промислових регіонів.

Мета роботи – навести теоретичні відомості та методику досліджень флюктууючої асиметрії листків берези повислої (*Betula pendula* Roth) в умовах аеротехногенного забруднення Криворіжжя.

Об'єкт та методи дослідження. Об'єктом дослідження були методологічні та методичні умови дослідження флюктууючої асиметрії листків берези повислої (*Betula pendula*).

В роботі використовувалися загальнонаукові методи теоретичних досліджень: аналізу та синтезу; індукції і дедукції; абстрагування і конкретизації.

Результати та їх обговорення. Зазвичай виділяють наступні види асиметрії листків рослин: а) флюктууюча асиметрія – випадкові незначні відхилення типово білатеральної структури від чіткої симетричності, б) асиметрія – різний розвиток лівої та правої частини білатеральної структури при випадковому характері переваги або правої, або лівої частини, в) спрямована асиметрія, коли у всіх організмів даного виду в білатеральній структурі переважає завжди один тип асиметричності: лівий чи правий (рис. 1).

Важливо наголосити, що основна увага при вивченні асиметрії приділяється аналізу флюктууючої асиметрії, яка є результатом випадкових, неспрямованих відхилень від білатеральної симетрії рослинних організмів [3, 6, 9].

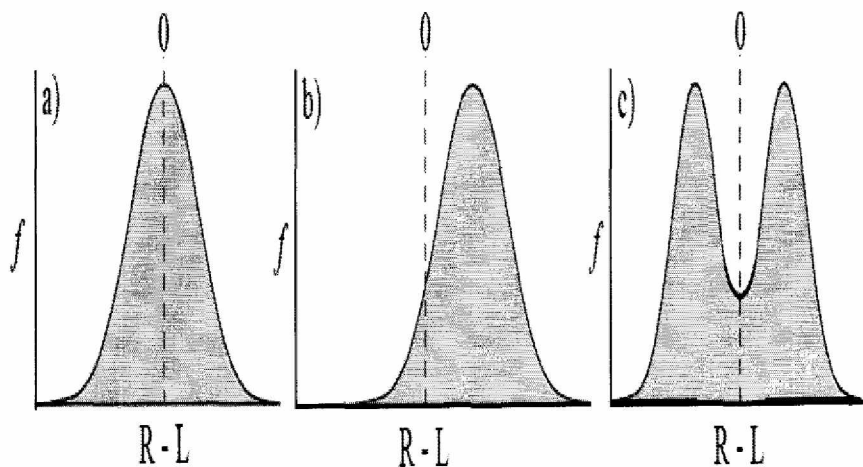


Рис. 1. Типи симетричної організації білатеральних структур

(за Ю.А. Злобіним, 2009 [5])

L – лівий бік симетричної структури, R – правий бік симетричної структури, f – частоти;

a – флюктуюча асиметрія: $L-R=0$ – нормальний статистичний розподіл,

b – асиметрія: $L-R \neq 0$, нормальний статистичний розподіл,

c – антисиметрія: $L-R=0$, рівномірний або бімодальний статистичний розподіл.

Загалом, флюктуючу асиметрію доцільно розглядати як наслідок неповної здатності організмів розвиватися строго визначеними шляхами або «онтогенетичним шумом».

Програма досліджень флюктуючої асиметрії листків деревних видів в промислових регіонах передбачає послідовну реалізацію наступних кроків: відбір листків, вимір морфометричних параметрів, розрахунок показників флюктуючої асиметрії, оцінка отриманих результатів.

Відбір листків необхідно виконувати на моніторингових ділянках, які адекватно репрезентують екологічні умови певної території за природними та антропогенними факторами. Зазвичай відбирають неушкоджені, максимально розвинуті листки в середній частині вегетативних пагонів, що припинили ріст, із середини південного боку крони десяти нормально розвинених дерев генеративного віку. Відібрані листочки сушать у гербарних пресах чи інших пристосуваннях, що забезпечують збереження форми листової пластинки. Мінімальна кількість листків становить 30 шт., а оптимальна 100 шт.

Вимір морфометричних параметрів проводиться в камеральних умовах та передбачає встановлення наступних параметрів (рис. 2): ширина половинки листка (ліва/права); довжина другої жилки другого порядку від основи листка (ліва/права); відстань між основами першої і другої жилок другого порядку (ліва/права); відстань між кінцями цих жилок (ліва/права); кут між головною жилкою і другою від основи жилкою другого порядку (ліва/права).

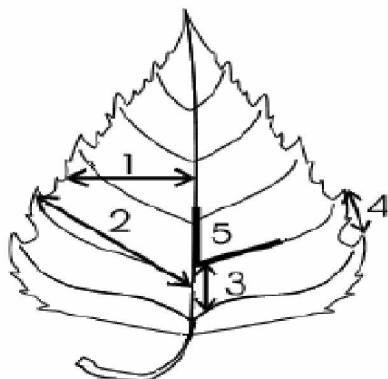


Рис. 2. Морфометричні параметри листкової пластинки

1 – ширина половинки листка; 2 – довжина 2-ої жилки II порядку від основи листка;
 3 – відстань між основами 1-ої та 2-ої жилки II порядку; 4 – відстань між кінцями цих жилок;
 5 – кут між головною жилкою і 2-ою від основи II порядку.

Розрахунок показників флюктуючої асиметрії (як показник величини середнього відносного розходження на ознаку (X)) доцільно виконувати за наступними спрощеними формулами [3, 5, 6]:

$$Y = \frac{|X_{л} - X_{п}|}{X_{л} + X_{п}} \quad (1)$$

$$Z = \frac{Y1 + Y2 + Y3 + Y4 + Y5}{N} \quad (2)$$

$$FA = \frac{Z1 + Z2 + \dots + ZN}{N2} \quad (3)$$

де: X – значення морфометричного показника, відповідно лівого та правого
 Y – показник, розрахований для кожної ознаки як розходження між правим (П) та лівим (Л) боками,
 Z – відносна середня відмінність між ознаками для кожного листка,
 N – кількість ознак (5),
 FA – інтегральний показник флюктуючої асиметрії,
 $N2$ – кількість листків у вибірці.

Власний досвід спілкування з учнями, що виконують науково-дослідні роботи та їх керівниками, а також зі студентами свідчить про наявність певних труднощів з розрахунками. Тому наводимо приклад визначення показників флюктуючої асиметрії для вибірки (10 шт.) листків берези повислої з умовно-чистої зони Криворіжжя (табл. 1 та табл. 2).

Спочатку проводимо морфометричні виміри, отримані результати заносимо в окрему таблицю (в нашому випадку це табл. 1).

Таблиця 1. Морфометричні параметри листків берези повислої

№	Ширина половинки листка, мм		Довжина жилки другого порядку (другий від основи листка), мм		Відстань між основами першої та другої жилок другого порядку, мм		Відстань між кінцями першої та другої жилки другого порядку, мм		Кут між головною жилкою та другою від основи листка жилкою другого порядку, °	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
1	31	31	33	35	3,0	3,0	13,0	13,0	42,0	53,0
2	20	23	40	42	3,0	3,0	14,0	15,0	55,0	51,0
3	21	24	34	32	2,5	2,0	13,0	10,0	50,0	49,0
4	24	24	30	31	6,0	6,0	14,0	13,0	49,0	42,0
5	30	27	38	39	5,0	5,0	10,0	8,0	51,0	50,0
6	18	20	37	38	2,0	2,0	10,0	10,0	59,0	51,0
7	20	19	30	31	4,5	5,0	12,0	12,0	42,0	49,0
8	21	21	33	39	4,5	4,0	14,0	15,0	50,0	49,0
9	22,0	22	30,0	30,0	5,0	6,0	12,0	10,0	40,0	39,0
10	22,0	21	38,0	36,0	5,0	5,0	10,0	10,0	55,0	59,0

Л – ліва, П – права.

Потім за допомогою формули 1 послідовно для кожного листка та кожної ознаки розраховуємо Y (як розходження між правим (П) та лівим (Л) боками).

$$Y = \frac{|X_L - X_P|}{X_L + X_P}; Y_1 = \frac{|31 - 31|}{31 + 31} = 0.0000; Y_2 = \frac{|33 - 35|}{33 + 35} = 0.0294,$$

$$Y_3 = \frac{|3 - 3|}{3 + 3} = 0.0000, Y_4 = \frac{|13 - 13|}{13 + 13} = 0.0000, Y_5 = \frac{|42 - 53|}{42 + 53} = 0.1158.$$

Аналогічно розраховуємо значення розходження між правим (П) та лівим (Л) боками для інших листків вибірки (Табл. 2).

В подальшому для кожного листка за формулою 2 розраховуємо відносну середню відмінність між ознаками.

$$Z = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5}{N} =$$

$$= \frac{0.0000 + 0.0294 + 0.0000 + 0.0000 + 0.1158}{5} = 0.0290$$

Таблиця 2. Таблиця розрахунків флюктуючої асиметрії листків берези повислої

№	Морфометричні параметри					Z
	Y 1	Y 2	Y 3	Y 4	Y 5	
1	0,0000	0,0294	0,0000	0,0000	0,1158	0,0290
2	0,0698	0,0244	0,0000	0,0345	0,0377	0,0333
3	0,0667	0,0303	0,1111	0,1304	0,0101	0,0697
4	0,0000	0,0164	0,0000	0,0370	0,0769	0,0261
5	0,0526	0,0130	0,0000	0,1111	0,0099	0,0373
6	0,0526	0,0133	0,0000	0,0000	0,0727	0,0277
7	0,0256	0,0164	0,0526	0,0000	0,0769	0,0343
8	0,0000	0,0833	0,0588	0,0345	0,0101	0,0373
9	0,0000	0,0000	0,0909	0,0909	0,0127	0,0389
10	0,0233	0,0270	0,0000	0,0000	0,0351	0,0171

На завершення за формулою 3 розраховуємо інтегральний показник флюктуючої асиметрії.

$$FA = \frac{Z1 + Z2 + *** + ZN2}{N2} = \frac{0.0290 + 0.0333 + *** + 0.0171}{10} = 0.0351$$

Проведення розрахунків вимагає певної ретельності та уваги і потребує значного часу. Проте використання прикладних комп'ютерних програм «Електронні таблиці» (наприклад Microsoft Excel) значно прискорює процес розрахунків.

Оцінка отриманих результатів флюктуючої асиметрії доцільно виконувати за допомогою рекомендованих шкал (табл. 3). Отриманий нами результат (0,0351) свідчить, що дерева берези повислої в межах умовно-чистої території знаходяться в межах умовної норми.

Таблиця 3. Шкала оцінки відхилень стану організму від умовної норми за величиною показника флюктуючої асиметрії [4]

№	Величина показника флюктуючої асиметрії	Оцінка	
		Бал	Характеристика
1	< 0,040	I	Умовна норма
2	0,040 – 0,044	II	Мінімальний рівень впливу
3	0,045 – 0,049	III	Середній рівень впливу
4	0,050 – 0,054	IV	Максимальний рівень впливу
5	> 0,054	V	Вкрай несприятливі умови, рослини перебувають в сильно пригніченому стані

Висновки. Показник флюктуючої асиметрії листків берези повислої, як результат випадкових відхилень від білатеральної симетрії рослинних організмів можна розглядати, є наслідок неповної здатності організмів розвиватися строго визначеними шляхами.

Власноруч проведені дослідження з вивчення флюктуючої асиметрії ліків берези повислої в умовах аеротехногенного забруднення Криворіжжя довели перспективність використання цього показника в різноманітних екологічних випускуваннях та більшу інформативність у порівнянні з простими морфометричними показниками [7, 8].

Дослідження флюктуючої асиметрії листків деревних видів є перспективною темою для організації та проведення науково-дослідних робіт учнів ліцеїв та гімназій. Так, науково-дослідна робота учня Криворізького науково-природничого ліцею (керівник О.М. Католіченко) була відзначена дипломами переможця різних ступенів Міського та Обласного рівнів.

В подальших дослідженнях доцільно розширити перелік видів деревних рослин. На нашу думку перевірити можливість використання в якості тест-об'єктів такі види: липа серцелиста, липа широколиста, тополя чорна, тополя біла, тополя пірамідальна.

Список використаної літератури

1. Бессонова В.П. Методи біоіндикації в оцінці екологічного стану довкілля / В.П. Бессонова. – Запоріжжя: ЗДУ, 2001. – 196 с.
2. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / пер. с нем.; под. ред. Р. Шеберта. – М.: Мир, 2007. – 350 с.
3. Ветчинникова Л.Е. Береза: вопросы изменчивости (морфо-физиологические и биохимические аспекты) / Л.Е. Ветчинникова. – М.: Наука, 2004. – 182 с.
4. Захаров В.М. Здоровье среды: методика оценки / В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов и др.. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 318 с.
5. Злобін Ю.А. Концепція морфометрії у сучасній ботаніці / Ю.А. Злобін, В.Г. Скляр, Л.М. Бондарева, К.С. Кирильчук // Чорноморський ботанічний журнал. – 2009. – Т. 5, № 1. – С. 5–22.
6. Павлинов И.Я. Принципы и методы геометрической морфометрии / И.Я. Павлинов, Н.Г. Микешина // Журнал общей биологии. – 2002. – Т. 63, № 6. – С. 473–493.
7. Савосько В.М. Морфологічні особливості листків берези повислої культурдрендрозенів степу в умовах промислового міста / В.М. Савосько, К.М. Домшина, В.В. Савосько // Питання біоіндикації та екології. – 2013. – Випуск 18. – № 2. – С. 121-133.
8. Савосько В.М. Флюктуюча асиметрія листків берези повислої в умовах аеротехногенного забруднення Криворіжжя / В.М. Савосько, О.М. Католіченко // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя, 2014. – Вип. 19, № 2. – С. 90-92.
9. Хисматуллина Г.Р. Сравнение морфологических признаков листа *Betula pendula* в условиях урбаноосреды / Г.Р. Хисматуллина // Вестник Удмуртского университета. – 2013. – Вып. 2: Биология. Науки о Земле. – С. 48-56.