

**ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯШНИКУ
(*HELIANTHUS ANNUUS* L.) ЯК ФІТОІНДИКАТОРА
АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ СЕРЕДОВИЩА**

Н. Притула

*Запорізький національний університет
вул. Жуковського, 66, Запоріжжя 69600, Україна
e-mail: prytulanataliam@gmail.com*

У статті проаналізовано фітоіндикаційні властивості соняшнику (*Helianthus annuus* L.) як імовірного біоіндикатора антропогенного навантаження території за допомогою методики оцінки величини флуктуаційної асиметрії листової пластинки рослин. Досліджували вплив просторового розташування посівів соняшнику та вплив генотипу на розвиток морфометричних ознак рослин. Дослідження проводили наприкінці липня 2019–2020 років, коли вегетативні органи соняшнику досягали максимального розвитку. Для проведення досліджень відібрано матеріал на дев'яти ділянках (на дев'яти полях), що розташовані у Запорізькій області, на різній відстані та в різних напрямках від промислової зони м. Запоріжжя (Заводський район). Для вивчення впливу генотипу на морфологічні ознаки соняшнику проведено дослідження восьми гібридів, що зростали в однакових умовах на демонстраційній ділянці у Василівському районі Запорізької області. Інтегральний показник флуктуаційної асиметрії соняшнику перебував у межах 0,062–0,114, при цьому найбільший показник флуктуаційної асиметрії спостерігали на ділянці, що найближче розташована до промислової зони Запоріжжя – північний напрямок від Запоріжжя. Найменший показник спостерігали на ділянці у східному напрямку від Запоріжжя. Інтегральний показник флуктуаційної асиметрії гібридів соняшнику, що вирощувалися в однакових ґрунтово-кліматичних умовах на демонстраційній ділянці, коливався у межах 0,070–0,093.

На основі проведених у 2019–2020 роках досліджень ми дійшли висновку, що соняшник (*Helianthus annuus* L.), незважаючи на його поширення, не придатний для використання як біоіндикаційна рослина під час вивчення рівня техногенного навантаження території. Нами отримано значні достовірні розбіжності у розвитку морфометричних параметрів листків соняшнику (*Helianthus annuus* L.) що вирощувалися на різновіддалених від промислової зони м. Запоріжжя ділянках. Гібриди, що відрізнялися між собою за морфо-господарськими характеристиками, вирощувалися в однакових ґрунтово-кліматичних умовах і за однакової агротехніки на демонстраційній ділянці, також показали значне коливання інтегрального показника флуктуаційної асиметрії.

Ключові слова: флуктуаційна асиметрія, дисперсія, морфометричні ознаки, мінливість, соняшник

На сьогодні одним із простих інформаційних і дешевих методів інтегральної оцінки стану навколишнього середовища є біоіндикація. Біоіндикація – це оцінка якості довкілля та його окремих параметрів за станом біоти, що там існує. Найчастіше як організми-біоіндикатори використовують рослини, що ведуть прикріплений спосіб життя, тобто чітко приурочені до місця досліджень і достатньо чутливі до зміни умов існування. Фітоіндикація як складова частина екологічного моніторингу досліджує морфогенетичні

зміни рослин як реакцію на антропогенні впливи. На рівні рослинних організмів впливи стресорів легко виявити завдяки прояву зовнішніх симптомів ушкоджень і стабільності розвитку рослинного організму.

Фітоіндикація є ефективною для оцінювання екологічного стану території, оскільки живі системи дуже чутливі до змін зовнішнього середовища і мають властивість реагувати раніше, ніж ці зміни стануть очевидними [1].

Стабільність розвитку особини проявляється у її здатності приймати «ідеальний» стан у відповідних, «ідеальних» умовах розвитку [2]. Критерієм, який допомагає дати достовірну оцінку стабільності розвитку, є флуктуаційна асиметрія, характерна для всіх білатеральних видів. Флуктуаційна асиметрія дає змогу оцінити найменші неспрямовані відхилення від білатеральної симетрії у морфологічній будові органа. На сьогодні достовірно встановлено, що за погіршення умов існування певного виду зростає флуктуаційна асиметрія особин [11], тому явище флуктуаційної асиметрії можна використати як показник антропогенного навантаження довкілля. Оцінку рівня флуктуаційної асиметрії листків для встановлення ступеня впливу стресового чинника на рослину використовували багато науковців [3–5, 9]. Суть методу полягає у виявленні рівня стабільності індивідуального розвитку особин конкретного виду, в нашому випадку соняшнику однорічного (*Helianthus annuus* L.), у певних умовах екологічного середовища й у виявленні ступеня розбіжності білатерально-симетричних морфологічних ознак особини.

Апріорно прийнято положення, що флуктуаційна асиметрія прямо залежить від якості середовища [10].

Переваги методики оцінки величини флуктуаційної асиметрії органів рослин:

- а) достатня кількість матеріалу для дослідження, що забезпечує репрезентативність вибірки;
- б) мінімальне та доступне обладнання (лінійка і транспортир);
- в) легкість збору матеріалу;
- г) можливість повторного дослідження однієї особини або популяції;
- д) дотримання принципів біоетики, а саме проведення досліджень без вилучення особин із популяції.

Як фітоіндикаційну культуру ми обрали соняшник однорічний (*Helianthus annuus* L.), одну із найпоширеніших культур в Україні, що приваблює сільськогосподарських товаровиробників стабільністю попиту на насіння та відносно низькими виробничими витратами. За господарським значенням соняшник не поступається таким найважливішим і поширеним культурам, як пшениця та кукурудза, і є однією з найпопулярніших олійних культур України та інших країн. Його вирощують майже в 60 країнах як Південної, так і Північної півкулі, у тропічному, субтропічному та помірному кліматі, що свідчить про високий рівень екологічної пластичності цієї культури [7]. Так, у 2019 р. в Україні соняшник був посіяний на площі 5,76 млн га, або 101 % проти 2018 р. – 5,7 млн га. [8]. Посіви соняшнику розташовані у всіх областях України, але найбільше їх у центральних, південних і східних областях України.

Мета роботи – дослідити флуктуаційну асиметрію листкової пластинки соняшнику (*Helianthus annuus* L.) та можливості використання його як біоіндикаторної культури для оцінки стану довкілля. У дослідженні було поставлено два завдання: визначити, як впливає просторове розташування посівів, а, відповідно, ступінь антропогенного навантаження на прояв флуктуаційної симетрії листків соняшнику, та вплив генотипу на ступінь прояву флуктуаційної асиметрії.

Матеріали та методи

Дослідження проводили у Запорізькій обл., яка належить разом із Дніпропетровською, Миколаївською, Кіровоградською та Харківською обл. до «соняшникового поясу», де площі його посівів у загальній структурі посівних площ становлять більше 30 %.

Посіви цієї культури розташовані у всіх районах Запорізької обл., на різній віддаленості від промислових центрів, що дає змогу проаналізувати вплив умов довкілля на розвиток флуктуаційної асиметрії листків соняшнику.

Об'єктом дослідження слугували морфологічні ознаки листкової пластинки соняшнику однорічного (*Helianthus annuus* L.).

Відбір проб для дослідження проводили наприкінці липня 2019–2020 років, коли вегетативні органи соняшнику досягли максимального розвитку, на 9 дослідних ділянках (на 9 полях) (дослід 1) та на демонстраційній ділянці (дослід 2). Ділянки характеризувалися різним рівнем техногенного навантаження та розташуванням у різних напрямках від промислової зони – Заводський район м. Запоріжжя (південь, північ, захід, схід). Із рослин на кожній дослідній ділянці добирали по 50 листових пластинок. Для вимірювання морфологічних параметрів використовували тільки непошкоджені листки, які відбирали по одному зі середнього ярусу листків кожної дослідної рослини.

Ділянки, на яких проводили відбір матеріалу для дослідження флуктуаційної асиметрії листків соняшнику, охарактеризовано у табл. 1.

Таблиця 1

Розташування ділянок для збору матеріалу дослідження

№ ділянки дослідження	Місце збору	Географічні координати
1	Північний напрямок від м. Запоріжжя, перед с. Богатирівка Вільнянського р-ну, Запорізької обл.	47°91'06"N 35°19'28"E
2	Північний напрямок від м. Запоріжжя, біля с. Люцерна Вільнянського р-ну, Запорізької обл.	47°93'30"N 35°18'80"E
3	Біля Енергодару, між с. Нововодяне Кам'яно-Дніпровського р-ну, Запорізької обл. та м. Енергодар	47°27'56"N 34°40'49"E
4	Більмакський р-н, 15 км до смт Розівка Розівського р-ну, Запорізької обл. у східному напрямку	47°41'51"N 36°02'62"E
5	18 км від м. Орхів, Орхівського р-ну, Запорізької обл. у східному напрямку	47°28'33»N 36°01'42»E
6	Східний напрямок від Запоріжжя, біля с. Наталовка Запорізького р-ну, Запорізької обл.	47°85'57"N 35°35'42"E
7	Західний напрямок від м. Запоріжжя, край Хортицького житлового масиву	47°83'72"N 35°00'22"E
8	Південний напрямок від м. Запоріжжя, біля с. Балабіно Запорізького р-ну, Запорізької обл.	47°74'99"N 35°22'59"E
9	Південно-східний напрямок, біля с. Степне Запорізького р-ну, Запорізької обл.	47°78'59"N 35°29'76"E

Перша ділянка – північний напрямок від м. Запоріжжя, перед с. Богатирівка Вільнянського р-ну, Запорізької обл. – найкоротша відстань від ділянки до промислового скупчення підприємств становить близько 6 км. Це найближча до промислової зони Запоріжжя ділянка з посівами соняшнику у 2019 р.

Друга ділянка – північний напрямок від Запоріжжя, біля с. Люцерна Вільнянського р-ну, Запорізької обл., найкоротша відстань від промислового скупчення підприємств до поля, з якого добирали матеріал для дослідження, – 8,3 км. Ці дві ділянки розташовані в одному напрямку.

Третя ділянка – поле, розташоване біля Енергодару, між с. Нововодяне Кам'яно-Дніпровського р-ну, Запорізької обл. та м. Енергодар. Тут розглядали як джерело забруднення Запорізьку ТЕС, найкоротша відстань до якої становить близько 5,5 км.

Четверта ділянка – поле у Більмакському р-ні, 15 км до смт Розівка Розівського р-ну, Запорізької обл. у східному напрямку від Запоріжжя, найвіддаленіша у наших дослідженнях від великих промислових об'єктів точка, найкоротша відстань від промислової зони Запоріжжя до неї становить 142 км.

П'ята ділянка – поле у 18 км від м. Оріхів Оріхівського р-ну, Запорізької обл., у східному напрямку від промислового скупчення підприємств Запоріжжя найкоротша відстань до неї становить близько 77 км.

Шоста ділянка – східний напрямок від Запоріжжя, біля с. Наталовка Запорізького р-ну, Запорізької обл. Найкоротша відстань від промислової зони Запоріжжя до неї становить близько 15 км.

Сьома ділянка – у західному напрямку від Запоріжжя, на краю Хортицького житлового масиву, до якого найкоротша відстань від великих промислових об'єктів Запоріжжя – 11,8 км.

Восьма ділянка – у південному напрямку від Запоріжжя, біля с. Балабіне Запорізького р-ну, Запорізької обл. Найкоротша відстань від промислової зони до поля досліджень – близько 14 км.

Дев'ята ділянка – у південно-східному напрямку від Запоріжжя, біля с. Степне Запорізького р-ну, Запорізької обл., до якого найкоротша відстань від скупчення промислових підприємств Запоріжжя становить близько 14 км.

Для вивчення впливу генотипу на формування морфологічних ознак соняшнику було досліджено 8 гібридів, які вирощували на демонстраційній ділянці французької компанії з виробництва та селекції насіння сільськогосподарських культур Limagrain. Ділянка була розташована біля траси Харків – Сімферополь, орієнтовно на 315 км, Василівського р-ну Запорізької обл., географічні координати 47°38'55.7"N 35°21'17.6"E.

Вимірювання правої та лівої частини листкової пластинки проводили за такими показниками (рис. 1): 1) ширина найширшої частини листкової пластинки; 2) ширина середини листкової пластинки; 3) довжина 1-ї від основи листкової пластинки жилки другого порядку; 4) довжина 2-ї від основи листкової пластинки жилки другого порядку; 5) відстань між основами 1-ї та 2-ї жилки листкової пластинки; 6) відстань між основами 2-ї та 3-ї жилки листкової пластинки; 7) відстань між кінцями 1-ї та 2-ї жилки листкової пластинки; 8) відстань між кінцями 2-ї та 3-ї жилки листкової пластинки; 9) кут між головною жилкою та другою жилкою другого порядку від основи листкової пластинки; 10) кут між головною жилкою і третьою жилкою другого порядку від основи листкової пластинки; 11) кількість добре розвинутих жилок другого порядку. Нами обрано велику кількість показників з метою виявлення тих, що будуть найбільш інформативні щодо мінливості.

Величину флуктуаційної асиметрії кожного параметра визначали як відношення подвоєного модуля різниці промірів з лівого та правого боку листкової пластинки до їхньої суми [12].

Інтегральний показник флуктуаційної асиметрії розраховували за формулами (1–3):

$$Y = \frac{|x_L - x_P|}{|x_L + x_P|} \quad (1)$$

$$Z = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5}{N}, \quad (2)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum Z}{n} = \frac{Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n}{n}, \quad (3)$$

де Y – показник, розрахований для кожного параметра, як різниця між правою та лівою частинами листової пластинки, Z – відносна середня відмінність між ознаками для кожного листка, N – кількість ознак, X – інтегральний показник асиметрії, n – число листків.

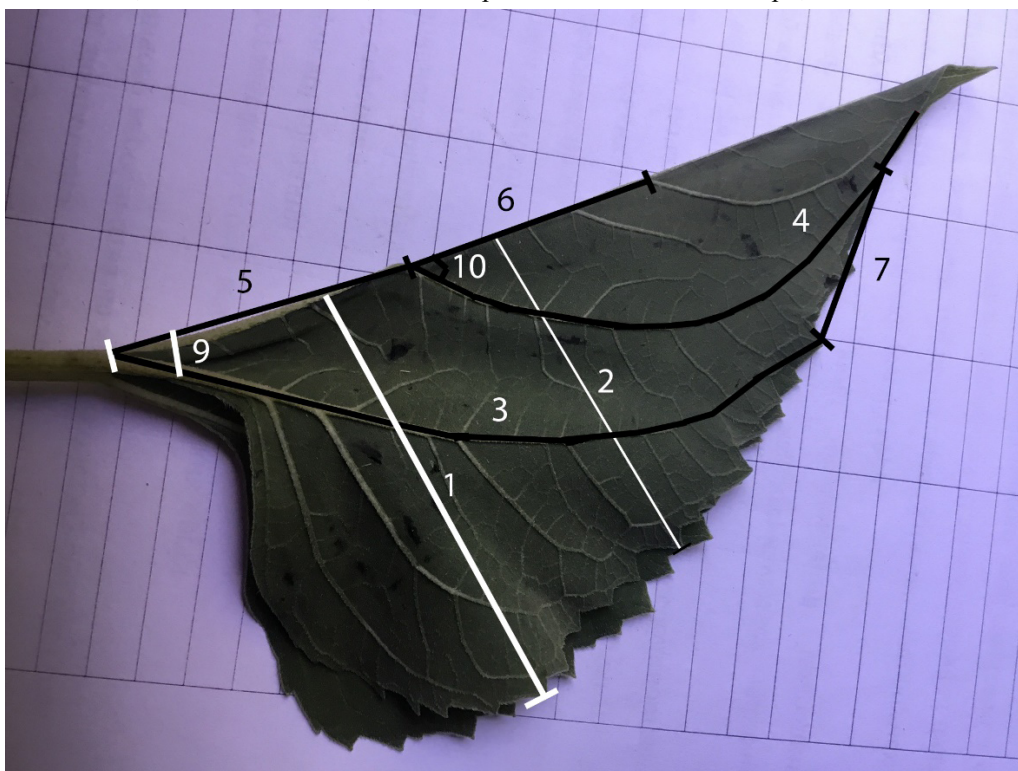


Рис. 1. Схема вимірювання морфологічних ознак, яку використовували для оцінки стабільності розвитку соняшнику однорічного (*Helianthus annuus* L.)

Математичну обробку результатів вимірювань (10 300 промірів) проводили на базі програми Microsoft Excel та Statistica 6.0.

Результати і їхнє обговорення

Розраховані за формулами показники флуктуаційної асиметрії листових пластинок соняшнику (*Helianthus annuus* L.) представлено в табл. 2.

Виходячи з даних, наведених у табл. 2, можна бачити, що інтегральний показник флуктуаційної асиметрії соняшнику коливався у межах 0,062–0,114, при цьому найбільший показник флуктуаційної асиметрії спостерігали на ділянці, що найближче розташована до промислової зони Запоріжжя (ділянка 1) – північний напрямок від Запоріжжя. Найменший показник спостерігали на ділянці 5 – східний напрямок від Запоріжжя.

Таблиця 2

Інтегральний показник флуктуаційної асиметрії листкової пластинки соняшнику, що вирощувався на полях, різновіддалених від промислового району м. Запоріжжя

№ ділянки дослідження	Інтегральний показник флуктуючої асиметрії
1	0,114±0,0035
2	0,109±0,0008
3	0,080±0,0008
4	0,073±0,0013
5	0,062±0,0006
6	0,084±0,0011
7	0,076±0,0007
8	0,082±0,0012
9	0,070±0,0010

В.В. Матвієнко [6] при дослідженні впливу автомобільного транспорту на показник флуктуаційної асиметрії листків соняшнику виявляє пряму залежність величини показника флуктуаційної асиметрії від транспортного навантаження траси. Дослідження проводили на шести ділянках біля трас із різною інтенсивністю руху. Автор пов'язує високий негативний показник флуктуаційної асиметрії з забрудненням атмосферного повітря автомобільними газами. Однак у роботі не досліджено вплив генотипу на формування ознаки. Оскільки малоімовірним є те, що на всіх ділянках вирощувався соняшник одного сорту чи один гібрид, то, на наш погляд, доцільно дослідити цей вплив.

Тому для вивчення ступеня впливу генотипу на флуктуаційну асиметрію листкової пластинки соняшнику було досліджено вісім гібридів, що вирощувалися в однакових ґрунтово-кліматичних умовах, але відрізнялися групами стиглості, господарськими та морфологічними характеристиками (табл. 3).

Таблиця 3

Інтегральний показник флуктуючої асиметрії листкової пластинки гібридів соняшнику, що вирощувалися в однакових ґрунтово-кліматичних умовах

Гібрид соняшнику	Інтегральний показник флуктуючої асиметрії
ЛГ50510	0,074±0,0012
ЛГ5580	0,093±0,0014
ЛГ50300	0,079±0,0005
ЛГ5485	0,082±0,0018
ЛГ50480	0,070±0,001
ЛГ5478	0,076±0,0008
Мегасан	0,074±0,0007
Тунка	0,082±0,0012

Наші дослідження свідчать, що інтегральний показник флуктуаційної асиметрії гібридів соняшнику, які вирощувалися в однакових ґрунтово-кліматичних умовах, коливався у межах 0,070–0,093.

Оскільки явище флуктуаційної асиметрії характерне для всіх білатеральних організмів, то ми розглядали всі гібриди соняшнику однорічного як один вид, припускаючи, що у будь-яких гібридів за нормальних умов листя рівномірно симетричне.

Дослідження показало значну варіацію інтегрального показника флуктуаційної асиметрії у гібридів у другому досліді, однак розмах мінливості у першому досліді був більшим.

На ділянці, що лежала найближче до промислової зони Запоріжжя, спостерігали найбільшу мінливість ознаки, яка була меншою в інших напрямках від Запоріжжя.

Отримані величини інтегрального показника флуктуаційної асиметрії можна пояснити скоріше різними умовами вирощування. Зважаючи на значну мінливість ознаки гібридів і сортів, що вирощувалися на одній ділянці демонстраційного полігону, можна припустити, що на розвиток асиметрії впливають умови вирощування більше, ніж просторове розташування рослин від джерела забруднення. Тому припускаємо, що соняшник однорічний малочутливий до забруднення атмосфери, що дає змогу отримувати високі та сталі врожаї цієї культури незалежно від антропогенного навантаження, але використовувати його як фітоіндикатор атмосферного забруднення недоцільно.

1. На основі проведених досліджень ми дійшли висновку, що соняшник (*Helianthus annuus* L.) непридатний для використання як біоіндикаційна рослина під час вивчення рівня техногенного навантаження території.

2. Нами отримано значні достовірні розбіжності у розвитку морфометричних параметрів листків соняшнику (*Helianthus annuus* L.), що вирощувалися на різновіддалених від промислової зони м. Запоріжжя ділянках.

3. Гібриди, що вирощувалися в однакових ґрунтово-кліматичних умовах, також показали значне коливання інтегрального показника флуктуаційної асиметрії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бессонова В. П. Пасивний моніторинг забруднення середовища важкими металами з використанням рослин // Укр. ботан. журн. 1991. Т. 48. № 2. С. 77–80.
2. Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов В. И. и др. Здоровье среды: методика оценки. М.: Изд-во Центра экол. политики России, 2000. 68 с.
3. Злобин Ю. А. Индикаторная роль листьев растений в биоэкологическом мониторинге // Наук. вісн. Миколаїв. держ. ун-ту. 2009. 24. № 4(1). С. 93–96.
4. Коровякова Т. О. Флуктуаційна асиметрія листків деяких видів лучного різнотрав'я на пасовищах // Укр. ботан. журн. 2013. Т. 70. № 2. С. 330–335.
5. Легета У. В., Ситнікова І. О. Оцінка екологічного стану територій Чернівецької області за інтегральним показником флуктуючої асиметрії (на прикладі *Tussilago farfara* L.) // Природничий альманах. 2009. 13. С. 98–104.
6. Матвиенко В. В. Биоиндикация состояния окружающей среды с помощью подсолнечника // Питання біоіндикації та екології. Запоріжжя: ЗНУ, 2014. Вип. 19. № 1. С. 39–49.
7. Нестерчук В. В. Продуктивність гібридів соняшнику залежно від густоти стояння рослин та мікродобрив в умовах півдня України: дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.09. Херсон, 2017. 170 с.
8. Рентабельність виробництва соняшнику в Україні впала до мінімуму за п'ять років. Режим доступу: <http://nv.ua/ukr/biz/markets/viroshchuvannya-sonyashniku-rentabelnist-vpala-do-minimumu-za-p-yat-rokiv-50030158.html> (дата звернення Листопад 17, 2020).
9. Kozlov M., Niemelä P., Junttila J. Needle fluctuating asymmetry is a sensitive indicator of pollution impact on Scots pine (*Pinus sylvestris*) // Ecological Indicators. 2002. 1(4). P. 271–277.
10. Moller A. P. Asymmetry, developmental stability and evolution. Oxford: Oxford Univ. Press, 1997. 291 p.
11. Palmer A. R. Fluctuating asymmetry analyses: a primer. *Developmental instability: its origins and evolutionary implications*. Kluwer Academic, Dordrecht, 1986. P. 335–364.
12. Zakharov V. M., Graham J. H. (eds.) Developmental stability in natural populations // Acta Zoologica Fennica. 1992. 191. P. 85–101.

THE FEASIBILITY OF USING SUNFLOWER (*HELIANTHUS ANNUUS* L.) AS A PHYTOINDICATOR OF ANTHROPOGENIC LOAD OF THE ENVIRONMENT**N. Prytula**

*Zaporizhzhya National University
66, Zhukovsky St., Zaporizhzhya 69600, Ukraine
e-mail: prytulanataliam@gmail.com*

The phytoindication properties of sunflower (*Helianthus annuus* L.) as a possible bioindicator of anthropogenic load of the territory are analyzed in the article by means of a technique of estimation of size of fluctuating asymmetry of a leaf plate of plants. The influence of the spatial location of sunflower crops and the influence of genotype on the development of morphometric traits of plants were studied. The study was conducted in late July 2019–2020, when the vegetative organs of sunflower reached their maximum development. The material was selected for research at nine points (nine fields) located in the Zaporizhzhia region, at different distances and in different directions from the industrial zone of Zaporizhzhia (Zavodsky district). To study the influence of genotype on the morphological characteristics of sunflower, a study of eight hybrids that grew under the same conditions in the demonstration area in Vasylivka district of Zaporizhzhia region was conducted. The integrated index of fluctuating asymmetry of sunflower was in the range of 0.062–0.114, with the largest indicator of fluctuating asymmetry was observed in the area closest to the industrial zone of Zaporizhzhia – north of Zaporizhzhia. The lowest rate was observed in the area – 5 – east of Zaporizhzhia. The integrated index of fluctuating asymmetry of sunflower hybrids grown in the same soil and climatic conditions in the demonstration area ranged from 0.070 to 0.093.

Based on research conducted in 2019–2020, we concluded that the species sunflower (*Helianthus annuus* L.), despite its distribution, is not suitable for use as a bioindication plant in the study of the level of man-made load in the area. We obtained significant differences in the development of morphometric parameters of sunflower leaves (*Helianthus annuus* L.) grown in areas far from the industrial zone of Zaporizhzhia. Hybrids, which differed in morpho-economic characteristics, were grown in the same soil and climatic conditions and with the same agricultural techniques, on the demonstration site, also showed significant fluctuations in the integral index of fluctuating asymmetry.

Keywords: fluctuating asymmetry, dispersion, morphometric features, variability, sunflower