

## МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНА ПЛАСТИЧНІСТЬ *PORTULACA OLERACEA* L. У ПРИСАДИБНИХ АГРОЦЕНОЗАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ ЯК РЕФЕРЕНТНА ОСНОВА ФІТОІНДИКАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ

М.М. Гейко, В.В. Скиба

Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)  
e-mail: [geykoslava16@gmail.com](mailto:geykoslava16@gmail.com); ORCID: 0009-0009-9900-3773  
e-mail: [volly2005@ukr.net](mailto:volly2005@ukr.net); ORCID: 0000-0002-3605-1147

У статті наведено результати морфофункціональних досліджень *Portulaca oleracea* L. у присадибних агроценозах Лісостепу України (с. Іванівка та с. Йосипівка Білоцерківського р-ну Київської обл.). Актуальність дослідження зумовлена необхідністю формування локально верифікованих референтних параметрів для фітоіндикаційного та радіоекологічного моніторингу в умовах тривалого пострадіаційного впливу. Дослідження виконано в 2025 р. у фазі масового цвітіння та початку плодоношення рослин. Сформовано суцільні вибірки: 645 особ. у с. Іванівка та 350 — у с. Йосипівка; загальний обсяг становив 995 рослин. Оцінювали морфометричні показники листка (площа, довжина, ширина, індекс форми), питому поверхневу щільність листової пластинки, щільність прорихів, кількість пагонів та масу сирого кореня. Обробку результатів здійснювали із застосуванням методів варіаційної статистики, перцентильного аналізу (P5, P20, P80, P95), тесту Велча та множинного регресійного моделювання. Встановлено, що в обох локалітетах переважає «фонове ядро» популяцій у межах інтервалу P20–P80, тоді як крайні варіанти (<P5 і >P95) представлені незначною часткою особин. За всіма дослідженими ознаками статистично достовірних міжлокалітетних відмінностей не виявлено ( $p > 0,05$ ), що свідчить про морфофункціональну зіставність популяцій. Визначено референтні центильні межі варіювання показників та розраховано індекси морфологічної пластичності. Побудована регресійна модель ( $R^2=0,994$ ) підтвердила можливість прогнозування маси кореня за неінвазивними морфометричними ознаками. Отримані результати можуть бути використані як науково обґрунтована база для подальшого біомоніторингу агроecosистем та оцінювання впливу радіоекологічних чинників у лісостеповій зоні України.

**Ключові слова:** морфометричні показники, адаптивні реакції рослин, біомоніторинг, індикаторні види, агроecosистеми, екологічні градієнти, антропогенний вплив.

### ВСТУП

Для поставарійного моніторингу екосистем недостатньо лише інструментальної фіксації радіонуклідного фону, оскільки безперечно рівень забруднення не дає вичерпного уявлення про біологічні наслідки дії техногенних чинників. Не менш важливо оцінювати реакцію рослинного компонента екосистем на сукупний вплив едафічних, гідротермічних та антропогенних чинників, оскільки саме рослини відображають інтегральний ефект середовищних змін і можуть слугувати чутливими індикаторами його стану. У цьому контексті особливого значення набувають види з

високою екологічною пластичністю, повсюдним поширенням та здатністю швидко реагувати на локальні зміни умов існування. *Portulaca oleracea* L. належить до таких видів. У світовій літературі її розглядають не лише як сегетальну і рудеральну рослину, а і як перспективний модельний об'єкт для фізіолого-екологічних, біоіндикаційних і фітотерапевтичних досліджень. Опубліковані праці свідчать про високу адаптивну здатність цього виду до абіотичних стресів, зокрема дефіциту вологи, засолення, високих температур і техногенного навантаження, а також про його здатність змінювати морфометричні та функціональні параметри залежно від умов середовища.

Саме тому *P. oleracea* може бути зручним тест-об'єктом для оцінювання стану агроценозів, зокрема в регіонах із тривалим впливом пострадіаційних чинників.

Водночас у більшості наявних досліджень увагу зосереджено переважно на загальних фізіолого-біохімічних реакціях виду, його харчовій цінності, лікарських властивостях або можливості до накопичення окремих токсикантів. Значно менш розробленим залишається питання кількісно обґрунтованого опису меж природної морфофункціональної мінливості локальних популяцій цього виду в умовах агроекосистем. За відсутності такого референтного профілю інтерпретація біоіндикаційних ознак може бути ускладненою, оскільки важко розмежувати природне варіювання показників і зміни, зумовлені дією техногенних або едафічних чинників. Особливо це стосується присадибних агроценозів Лісостепу України, де поєднуються мозаїчність ґрунтових умов, різна інтенсивність господарського використання території та довготривалий післяаварійний вплив наслідків Чорнобильської катастрофи.

У зв'язку з цим виникає потреба у формуванні статистично обґрунтованої морфофункціональної бази, яка могла б слугувати основою для подальших фітоіндикаційних і радіоекологічних оцінок. **Мега дослідження** — охарактеризувати морфофункціональні особливості та межі мінливості локальних популяцій *Portulaca oleracea* L. у присадибних агроценозах Лісостепу України, а також з'ясувати можливість використання одержаних показників для формування референтних індикаторних параметрів у подальшому фітоіндикаційному та радіоекологічному моніторингу.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Портулак городній (*Portulaca oleracea* L.) у сучасній науковій літературі розглядається як перспективний поліфункціональний вид із вираженими харчовими, фармакологічними та екологічними властивостями. Його харчову цінність, антиоксидантний потенціал та вміст біологічно активних

сполук висвітлено у працях M.K. Uddin та співавт. [1], B. Nemzer, F. Al-TaHER, N. Abshiru [2], A. Kumar та співавт. [3], K. Li та співавт. [4], а також Y.X. Zhou з колегами [5]. У цих дослідженнях показано, що *P. oleracea* є джерелом поліненасичених жирних кислот, антиоксидантів і фітохімічних компонентів, що зумовлює його значення як функціональної рослини з високим адаптивним потенціалом.

Фізіолого-екологічні механізми адаптації виду до абіотичних стресів детально проаналізовано K. Winter та J.A.M. Holtum [6], які встановили здатність *P. oleracea* до гнучкого поєднання C4- і CAM-типів фотосинтезу. Подальші дослідження D. He, Z. Yan, L. Sun, X. Yang, Y. Zhou [7], C.C. Kiliç, Y.S. Kukul, D. Anaç [8], а також X. Yang та співавт. [9] підтвердили високу пластичність морфофункціональних реакцій рослини, її толерантність до засолення, температурних коливань і дефіциту вологи, а також здатність підтримувати метаболічну активність у несприятливих умовах.

У сучасних роботах значна увага приділяється використанню *P. oleracea* як біоіндикатора та об'єкта фітореMediaції. Зокрема, S. Subiramaniam [10] обґрунтував можливість застосування цього виду для біомоніторингу забруднених територій завдяки здатності акумулювати важкі метали, тоді як N. Diagne та співавт. [11] показали, що симбіотичні взаємодії з мікоризними грибами посилюють розвиток рослин і впливають на їх біохімічний склад. Тому, у світовій літературі *P. oleracea* розглядається як перспективний індикаторний вид для оцінювання стану антропогенно трансформованих екосистем.

В українському науковому просторі дослідження цього виду залишаються обмеженими. Наявні роботи переважно стосуються флористичних і ценотичних аспектів його поширення, зокрема у напрацюваннях O.V. Bulakh, O. Orlov, P. Bulakh, M. Shevera [12]. Водночас узагальнювальна праця М.М. Гейко та співавт. [13] свідчить, що частка вітчизняних досліджень *P. oleracea* є незначною порівняно зі світовим масивом публікацій, а більшість із них не охоплює

морфофункціональних характеристик виду.

Методологічні засади радіоекологічних досліджень рослинних систем розкрито у роботах І.М. Гудкова [14], Г.М. Чоботька та співавт. [15], а також Д.В. Матвєєва і О.В. Романенка [16], де проаналізовано закономірності накопичення радіонуклідів у рослинах агроєкосистем Лісостепу України. Втім застосування цих підходів до оцінювання морфофункціональної відповіді *P. oleracea* в умовах пострадіаційних агроландшафтів практично не вивчено.

Отже, попри значну кількість сучасних міжнародних досліджень, відсутні системні кількісні дані щодо меж природної морфофункціональної мінливості *P. oleracea* у конкретних регіональних умовах України. Недостатня розробленість цього напрямку обмежує можливість використання виду як надійного біоіндикатора у системах фітоіндикаційного та радіоекологічного моніторингу, що й обумовлює актуальність проведеного дослідження.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом дослідження були локальні популяції портулаку городнього у двох населених пунктах Білоцерківського р-ну Київської обл. Польові роботи проводили у серпні–вересні 2025 р. у фазі масового цвітіння та початку плодоношення *P. oleracea*, коли морфологічна структура рослин є достатньо сформованою для надійної морфометричної оцінки. Дослідження виконано в с. Іванівка (49°52'N, 30°24'E) та с. Йосипівка (49°56'N, 30°23'E). У результаті польових обстежень і подальшої лабораторної обробки створено суцільні вибірки модельних рослин: у с. Іванівка – 645 особ. із 480 домогосподарств, у с. Йосипівка – 350 особ. із 270 домогосподарств. Різниця в обсязі вибірок зумовлена більшою кількістю доступних для суцільного обстеження присадибних ділянок у с. Іванівка.

Програма вимірювань охоплювала показники асиміляційного апарату (площа листової пластинки  $S_1$ , довжина, шири-

на, індекс форми  $L/W$ , питома поверхнева щільність листка  $LMA$ , щільність прорихів  $N_{st}$ ), кількість пагонів на рослину та масу сирого кореня. Площу листка визначали методом цифрової морфометрії з використанням програмного забезпечення ImageJ 1.54 (НИН, США) із калібруванням за міліметровою шкалою; заявлена похибка методу становила  $\pm 0,02$  см<sup>2</sup>. Щільність прорихів оцінювали на тимчасових препаратах абаксальної поверхні листка, отриманих методом відбитка нігтьового лаку. Підрахунок здійснювали під мікроскопом Sigeta MB-130 за збільшення  $\times 400$ ; для кожного зразка аналізували п'ять полів зору площею 0,1 мм<sup>2</sup> кожне з наступним усередненням результату і перерахунком у шт./мм<sup>2</sup>. Питома поверхнева щільність листка ( $LMA$ ) розраховували як відношення сухої маси листової пластинки до її площі за формулою:

$$LMA = M_{\text{сух}} / S_1, \quad (1)$$

де  $M_{\text{сух}}$  – суха маса листка, мг;  $S_1$  – площа листової пластинки, см<sup>2</sup>.

Суху масу листка визначали після висушування зразків у сушильній шафі за температури 70°C до сталої маси. Масу сирого кореня вимірювали гравіметрично у свіжому стані після відокремлення кореня, його промивання від ґрунту та видалення поверхневої вологи. Індекс морфологічної пластичності ( $IP$ ) виявляли за співвідношенням:

$$IP = (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) / X_{\text{max}}, \quad (2)$$

де  $X_{\text{max}}$  і  $X_{\text{min}}$  – відповідно максимальне та мінімальне значення досліджуваної ознаки у вибірці.

Статистичну обробку здійснювали з розрахунком  $M \pm m$ , центильних меж (P5, P20, P80, P95), коефіцієнта варіації, індексу пластичності  $IP$ , а також  $t$ -критерію Велча для незалежних вибірок із нерівними дисперсіями, оскільки цей метод є найбільш стійким і надійним для сучасних емпіричних досліджень [17]. Для опису структури індивідуальної мінливості застосовано перцентильний підхід із фіксованими точками P5, P20, P80 та P95. Діапазон P20–P80

розглядали як «фонове ядро» популяції; інтервали P5–P20 та P80–P95 – як зони помірних відхилень; значення поза межами P5 і P95 – як екстремальні морфотипи.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Першим етапом аналізу стало оцінювання загальної структури індивідуальної мінливості в обох локалітетах. В обох вибірках основна частка особин зосереджувалася в межах міжцентильного інтервалу P20–P80, тоді як крайні варіанти, що входили за межі P5 і P95, траплялися поодинокі. Це свідчить про наявність стабільної центральної частини популяції за одночасного збереження інформативного резерву крайніх фенотипових варіантів.

Близькість розподілу індивідуальної мінливості у двох локалітетах вказує на подібний характер функціонування популяцій *P. oleracea* у межах досліджуваних присадибних агроценозів. Водночас наявність екстремальних форм не слід розглядати як статистичний «шум». У біоіндикаційних дослідженнях саме крайні варіанти часто першими реагують на локальні градієнти середовища, тому їх виокремлення має прикладне значення для подальших спостережень.

На другому етапі проаналізовано середні значення ключових морфофункціональних показників (табл. 1). За всіма ві-

сьмома оціненими ознаками статистично достовірних міжлокалітетних відмінностей не виявлено ( $p > 0,05$ , тест Велча).

Площа листка становила  $1,755 \pm 0,036 \text{ см}^2$  у с. Іванівка та  $1,807 \pm 0,056 \text{ см}^2$  у с. Йосипівка; довжина листка –  $22,30 \pm 0,49$  і  $23,08 \pm 0,76$  мм; ширина листка –  $12,13 \pm 0,27$  і  $12,57 \pm 0,42$  мм; індекс форми листка ( $L/W$ ) –  $1,845 \pm 0,006$  і  $1,836 \pm 0,001$ ;  $LMA$  –  $23,43 \pm 0,51$  і  $24,31 \pm 0,79 \text{ мг/см}^2$ ; щільність продохів –  $35,05 \pm 0,73$  і  $36,18 \pm 1,13 \text{ шт./мм}^2$ ; кількість пагонів –  $8,06 \pm 0,17$  і  $8,28 \pm 0,26$ ; маса сирого кореня –  $46,67 \pm 0,99$  і  $47,95 \pm 1,53 \text{ г}$  відповідно.

Максимальне відносне відхилення середнього значення у Йосипівці від рівня Іванівки не перевищувало 3,8% і стосувалося  $LMA$ . Отже, обидві локальні популяції можна розглядати як морфофункціонально зіставні, що є важливою передумовою для використання спільних референтних меж у подальших моніторингових дослідженнях.

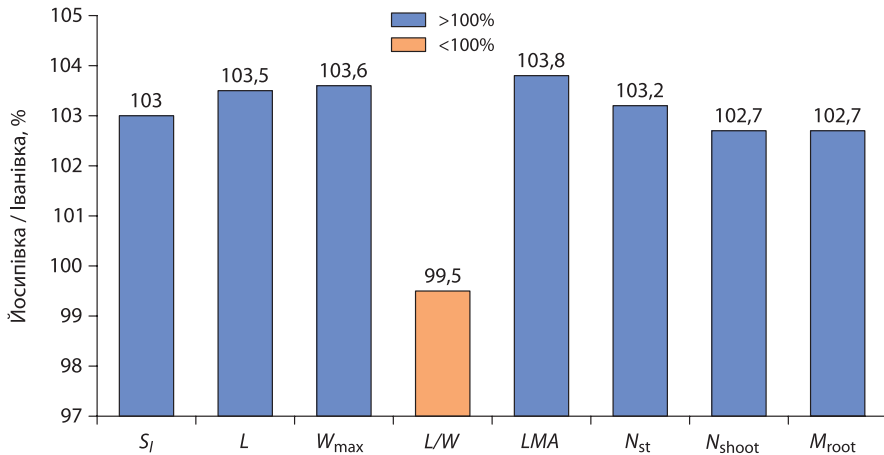
На рис. 1 показано відносне співвідношення середніх значень ключових морфофункціональних показників *Portulaca oleracea* L. у локалітетах Йосипівка/Іванівка (%).

З урахуванням наведених даних видно, що для більшості ознак значення в Йосипівці є незначно вищими, тоді як для індексу форми листка ( $L/W$ ) спостерігається мінімальне зниження. Водночас масштаб відмінностей є малим і перебуває в межах

Таблиця 1. Ключові морфофункціональні показники *Portulaca oleracea* L. у локалітетах дослідження та результати  $t$ -тесту Велча\*

Показники	Од. вим.	Іванівка ( $M \pm m$ )	Йосипівка ( $M \pm m$ )	$t$	$p$
Середня площа листової пластинки	см <sup>2</sup>	$1,755 \pm 0,036$	$1,807 \pm 0,056$	-0,79	0,429
Довжина листка	мм	$22,30 \pm 0,49$	$23,08 \pm 0,76$	-0,85	0,394
Ширина листка (max)	мм	$12,13 \pm 0,27$	$12,57 \pm 0,42$	-0,90	0,370
Індекс форми листка ( $L/W$ )	відн. од.	$1,845 \pm 0,006$	$1,836 \pm 0,001$	1,39	0,166
Питома поверхнева щільність листка ( $LMA$ )	мг/см <sup>2</sup>	$23,43 \pm 0,51$	$24,31 \pm 0,79$	-0,93	0,355
Щільність продохів (абаксіальна сторона)	шт./мм <sup>2</sup>	$35,05 \pm 0,73$	$36,18 \pm 1,13$	-0,84	0,403
Кількість пагонів на 1 рослину	шт.	$8,06 \pm 0,17$	$8,28 \pm 0,26$	-0,71	0,476
Маса сирого кореня	г	$46,67 \pm 0,99$	$47,95 \pm 1,53$	-0,70	0,485

Примітка: \* – систематизовано автором на основі власних досліджень.



**Рис. 1.** Діаграма відносних рівнів середніх значень ознак у Йосипівці щодо Іванівки (Іванівка = 100%)

природного варіювання, що узгоджується з результатами тесту Велча та підтверджує відсутність вираженої морфофункціональної дивергенції між локалітетами.

Розрахунок індексу морфологічної пластичності підтвердив високу пластичність виду в обох локалітетах (табл. 2).

Для більшості ознак значення  $IP$  перебували в межах 0,868–0,898, що вказує на широкий діапазон індивідуального варіювання. Винятком був індекс форми листка ( $L/W$ ): у с. Іванівка його значення становило 0,778, тоді як у с. Йосипівка — лише 0,079. Це не означає зниження пластичності листкової пластинки загалом, а відображає іншу геометрію варіювання

ознаки. Кореляційний аналіз показав, що в Йосипівці довжина і ширина листка змінювалися майже пропорційно ( $r = 0,994$ ;  $p < 0,001$ ), тому відношення  $L/W$  залишалося відносно стабільним попри варіювання абсолютних розмірів. Таку особливість доцільно враховувати під час відбору ознак для фітоіндикаційного аналізу, оскільки інформативність абсолютних розмірів листка і його індексу форми в межах одного локалітету може відрізнятись.

Окремий інтерес становило регресійне моделювання маси сирого кореня за неінвазивними морфометричними показниками. На основі об'єднаної вибірки побудовано множинну лінійну регресію:

**Таблиця 2. Індеси морфологічної пластичності  $IP$  для локальних популяцій *Portulaca oleracea* L.\***

Показники	$IP$ (Іванівка)	$IP$ (Йосипівка)
Середня площа листкової пластинки	0,887	0,883
Довжина листка	0,896	0,889
Ширина листка (max)	0,896	0,889
Індекс форми листка ( $L/W$ )	0,778	0,079
Питома поверхнева щільність листка ( $LMA$ )	0,895	0,889
Щільність продихів (абаксальна сторона)	0,886	0,879
Кількість пагонів на 1 рослину	0,881	0,868
Маса сирого кореня	0,898	0,891

*Примітка:* \* — систематизовано автором на основі власних досліджень.

$$M_{\text{root}} = -0,654 + 10,498 \cdot S_1 + 0,611 \cdot LMA + 0,413 \cdot N_{\text{st}}, \quad (3)$$

де  $M_{\text{root}}$  – маса сирого кореня, г;  $S_1$  – площа листової пластинки,  $\text{см}^2$ ;  $LMA$  – питома поверхнева щільність листка,  $\text{мг}/\text{см}^2$ ;  $N_{\text{st}}$  – щільність продихів, шт./ $\text{мм}^2$ .

Коефіцієнт детермінації моделі становив  $R^2=0,994$ , що свідчить про дуже тісний зв'язок між відібраними предикторами і масою кореня.

Водночас для коректної інтерпретації такого високого значення було проведено додаткову перевірку статистичних передумов моделювання (табл. 3).

Адекватність моделі підтверджена комплексом діагностичних тестів: фактори інфляції дисперсії (VIF) для предикторів не перевищували 2,8 ( $S_1$ : VIF=2,41;  $LMA$ : VIF=2,63;  $N_{\text{st}}$ : VIF=2,18), що виключає

**Таблиця 3. Параметри регресійної моделі прогнозування маси сирого кореня за параметрами листка ( $n = 995$ )\***

Параметри	Оцінка коефіцієнта	SE
$a$ (вільний член)	-0,654	0,159
$b_1$ при $S_1$ ( $\text{см}^2$ )	10,498	0,676
$b_2$ при $LMA$ ( $\text{мг}/\text{см}^2$ )	0,611	0,061
$b_3$ при $N_{\text{st}}$ (шт./ $\text{мм}^2$ )	0,413	0,036
$R^2$	0,994	—

Примітка: \* – систематизовано автором на основі власних досліджень.

**Таблиця 4. Центильні межі ключових морфофункціональних показників *Portulaca oleracea* L. (об'єднана вибірка,  $n = 995$ )\***

Показники	Од. вим.	P5	P20	P80	P95
$S_1$ (площа листка)	$\text{см}^2$	0,58	1,24	2,32	2,98
Довжина листка	мм	14,1	18,8	26,2	31,4
Ширина листка	мм	7,2	10,1	14,5	17,4
$L/W$	відн. од.	1,58	1,74	1,94	2,10
$LMA$	$\text{мг}/\text{см}^2$	15,4	20,3	27,2	32,1
$N_{\text{st}}$ (продихи)	шт./ $\text{мм}^2$	23,7	30,5	40,5	47,3
Кількість пагонів	шт.	3	6	10	13
Маса кореня	г	22,4	36,9	57,5	72,0

Примітка: \* – систематизовано автором на основі власних досліджень.

критичну мультиколінеарність; розподіл залишків не відрізнявся від нормального (тест Шапіро–Вілка:  $W=0,987$ ;  $p=0,063$ ); ознак гетероскедастичності не виявлено (тест Бройша–Пагана:  $\chi^2=3,21$ ;  $p=0,360$ ). Сукупність цих результатів дає підстави розглядати модель як коректний робочий інструмент попередньої оцінки підземної продуктивності за неінвазивними ознаками. Крім того, її прогностична придатність потребує подальшої перевірки на незалежних вибірках, що відповідає належній практиці побудови прикладних біометричних моделей (табл. 4).

На рис. 2 наведено графік прогнозованої залежності маси сирого кореня від площі листка за побудованою регресійною моделлю, а також середні емпіричні точки для кожного локалітету.

Лінія регресії чітко описує спостережувані дані: середні значення обох локалітетів лежать поблизу модельної кривої. Це узгоджується з високою пояснювальною здатністю моделі та підтверджує тісний зв'язок між параметрами асиміляційного апарату і підземною продуктивністю рослин. Для об'єднаної вибірки визначено також референтні центильні межі ключових морфофункціональних показників. Саме ці межі можуть бути використані як референтна база для подальшої інтерпретації індивідуальної і локальної мінливості виду в межах близьких за екологічними умовами агроценозів.

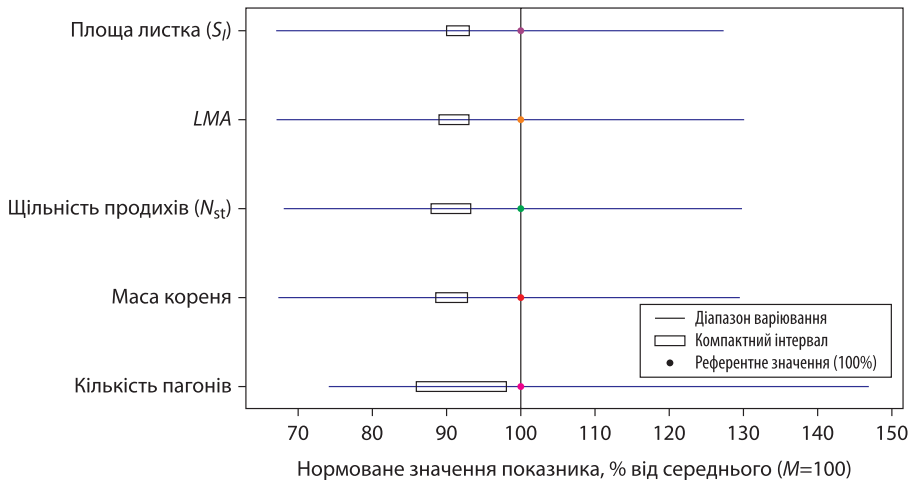


Рис. 2. Графік прогнозованої залежності маси сирого кореня від площі листка за регресійною моделлю та середні емпіричні точки локалітетів

## ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень встановлено, що локальні популяції *Portulaca oleracea* L. у присадибних агроценозах Лісостепу України характеризуються високою морфофункціональною зіставністю за комплексом основних ознак, що підтверджує можливість застосування спільних референтних меж для їх подальшої біоіндикаційної оцінки. Показано, що в структурі індивідуальної мінливості домінує стабільне «фонове ядро» особин, тоді як крайні варіанти трапляються значно рідше, що свідчить про поєднання відносної стабільності популяцій із наявністю адаптивного резерву. Визначені центильні межі для морфометричних і функціональних показників формують основу для локально верифікованого профілю норми, необхідного для подальшого фітоіндикаційного моніторингу. Відсутність статистично достовірних міжлокалітетних відмінностей за більшістю досліджених ознак вказує на подібний характер функціонування популяцій у межах досліджуваних агро-

ценозів. Водночас побудована регресійна модель продемонструвала тісний зв'язок між неінвазивними морфометричними показниками та масою кореня, що пояснює перспективність використання таких параметрів для попереднього скринінгу рослинного матеріалу. Одержані результати свідчать, що *P. oleracea* може розглядатися як перспективний вид для біомоніторингу в умовах антропогенно трансформованих і пострадіаційних агроландшафтів. Перспективи подальших досліджень полягають у перевірці одержаних референтних меж на ширшому регіональному матеріалі, включаючи інші типи агроєкосистем і ґрунтово-кліматичні умови. Доцільним є також поєднання морфофункціональних підходів із визначенням вмісту  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  та важких металів у системі ґрунт–рослина для встановлення індикаторної цінності окремих ознак. Окремої уваги потребує апробація побудованої моделі на незалежних вибірках і уточнення її прогностичного потенціалу в умовах різного техногенного навантаження.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Uddin, M. K., Juraimi, A. S., Hossain, M. S., Nahar, M. A. U., Ali, M. E., & Rahman, M. M. (2014).

Purslane weed (*Portulaca oleracea*): A prospective plant source of nutrition, omega-3 fatty acid, and

- antioxidant attributes. *The Scientific World Journal*, 2014, Article 951019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/951019>.
2. Nemzer, B., Al-Taher, F., & Abshiru, N. (2020). Phytochemical composition and nutritional value of different plant parts in two cultivated and wild purslane (*Portulaca oleracea* L.) genotypes. *Food Chemistry*, 320, Article 126621. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126621>.
  3. Kumar, A., Sreedharan, S., Kashyap, A. K., Singh, P., & Ramchiary, N. (2022). A review on bioactive phytochemicals and ethnopharmacological potential of purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Heliyon*, 8(1), e08669. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08669>.
  4. Li, K., Xia, T., Jiang, Y., Wang, N., Lai, L., Xu, S., Yue, X., & Xin, H. (2024). A review on ethnopharmacology, phytochemistry, pharmacology, and potential uses of *Portulaca oleracea* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 319, 117211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.117211>.
  5. Zhou, Y. X. et al. (2022). *Portulaca oleracea* L.: Nutritional values, bioactive compounds and pharmacological effects. *Food Science and Human Wellness*, 11(5), 1059–1069. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.04.002>.
  6. Winter, K., & Holtum, J. A. M. (2014). Facultative crassulacean acid metabolism (CAM) plants: Powerful tools for unravelling the functional elements of CAM photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 65(13), 3425–3441.
  7. He, D., Yan, Z., Sun, L., Yang, X., & Zhou, Y. (2021). Responses to salt stress in *Portulaca*. *Frontiers in Plant Science*, 12, Article 667957. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.667957>.
  8. Kiliç, C. C., Kukul, Y. S., & Anaç, D. (2008). Performance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) as a salt-removing crop. *Agricultural Water Management*, 95(7), 854–858. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.02.012>.
  9. Yang, X. et al. (2012). Proteomic analysis of high temperature and high humidity stress in the medicinal plant *Portulaca oleracea* L. *Journal of Proteome Research*, 11(6), 3061–3070. DOI: <https://doi.org/10.1021/pr300027a>.
  10. Subpiramanyam, S. (2021). *Portulaca oleracea* L. for phytoremediation and biomonitoring in metal-contaminated environments. *Chemosphere*, 280, Article 130784. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130784>.
  11. Diagne, N., et al. (2023). Mycorrhizal fungi modulate the development and bioactive compound production in purslane. *Agriculture*, 13(7), Article 1458. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13071458>.
  12. Bulakh, O. V., Orlov, O., Bulakh, P., & Shevera, M. (2023). *Portulacacetum oleracei* Felföldy 1942 in Ukraine. *Hacquetia*, 22(2), 179–188. DOI: <https://doi.org/10.2478/hacq-2022-0015>.
  13. Гейко, М. М., Скиба, В. В., Розпутній, О. І., Перцьовий, І. І., Бабань, В. П., & Герасименко, В. Ю. (2025). Еколого-біологічні основи поширення та використання *Portulaca oleracea* L. у світі та Україні з урахуванням сучасних кліматичних змін. *Агробіологія*, 2, 25–37. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2025-199-2-362-372>.
  14. Гудков, І. М. (2019). *Радіобіологія*. ОЛДІ-ПЛЮС.
  15. Чоботько, Г. М., Дем'янюк, О. С., Райчук, Л. А., & Швиденко, І. К. (2025). *Прикладна радіоекологія з основами радіобіології*. (Г. М. Чоботько, Ред.). Київ: НУБіП України.
  16. Матвеев, Д. В., & Романенко, О. В. (2018). Особливості накопичення радіонуклідів рослинами агроєкосистем Лісостепу України в поставарійний період. *Агроєкологічний журнал*, 3, 45–52.
  17. Delacre, M., Lakens, D., & Leys, C. (2017). Why psychologists should by default use Welch's t-test instead of Student's t-test. *International Review of Social Psychology*, 30(1), 92–101. DOI: <https://doi.org/10.5334/irsp.90>.

Дата першого надходження рукопису до редакції: 28.01.2026  
 Дата прийняття статті до друку після рецензування: 01.03.2026  
 Дата публікації: 10.04.2026