

МОРФОСТРУКТУРНІ ЗМІНИ РОСЛИН *HELIANTHUS ANNUUS* ЗА РІЗНОЇ ЩІЛЬНОСТІ АГРОПОПУЛЯЦІЇ

Бердін Іван Васильович

магістр екології

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0009-0009-7550-5816

ivanberdin21@gmail.com

Скляр Вікторія Григорівна

доктор біологічних наук, професор

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-1301-7384

skvig@ukr.net

Соняшник однорічний (*Helianthus annuus* L.) – одна з найпоширеніших та найважливіших сільськогосподарських культур в Україні та Світі. Щільність популяції культурних рослин в популяційній біології та екології розглядається як передумова виникнення внутрішньовидової та міжвидової конкуренції рослин в агрофітоценозі за усі життєво необхідні ресурси, такі як доступ до сонячного світла та елементи живлення. Відповідно, метою даної статті було вивчення особливостей формування морфоструктури популяції *H. annuus* на градієнті щільності посіву в умовах північно-східного Лісостепу України.

За результатами дослідження встановлено статистично достовірні відмінності усіх морфопараметрів, за винятком лише діаметра суцвіття (*Df*), на різних варіантах щільності агропопуляції. Загалом, максимальні значення більшості морфоознак (72%) зафіксовані на варіантах з щільністю 55,2 та 59,5 тис.шт./га, при чому на останньому максимального значення досягли семи морфопараметрів (*W*, *Wveg*, *Wgen*, *NI*, *S*, *LAR*, *ADR*). Найбільша мінливість практично усіх параметрів характерна для варіанту 55,2 тис.шт./га, що свідчить про те, що у цій популяції рослини доволі неоднорідні за своєю морфоструктурою та розмірними ознаками, тоді як при більшій щільності диференціація особин значно менша. Аналіз статистичних рядів розподілу виявив закономірне зменшення розмірів більшості рослин по мірі ущільнення посівів. Все це дає підстави стверджувати, що популяційна щільність 55,2 тис.шт./га є найсприятливішою для розвитку рослин, оскільки вищі рослини мали кращу позицію в агрофітоценозі, що дозволило їм сформувати достатню листову поверхню і, відповідно, накопичити більшу фітомасу. Розрахунки індексу морфоінтеграції показали суттєву різницю між мінімальною та максимальною щільністю агропопуляції, яка становила майже 10%. Варіанти з щільністю 55,2 та 59,5 тис.шт./га відрізнялися не суттєво – різниця склала лише 1,3%. Порівняння індексів морфоінтеграції підтвердило той факт, що серед трьох градацій чинника популяційної щільності, найбільш оптимальним був варіант 55,2 тис.шт./га. Наразі визначення інформативних показників життєвого стану культурних рослин та їх адаптаційних можливостей, в контексті оптимізації технології вирощування, ще потребує більш ґрунтового вивчення.

Ключові слова: *Helianthus annuus* L., агропопуляція, морфометрія, популяційна щільність, агрофітоценоз, конкуренція, морфологічна цілісність, габітус, морфологічна мінливість

DOI <https://doi.org/10.32782/agrobio.2025.1.3>

Вступ. Соняшник однорічний (*Helianthus annuus* L.) – одна з найпоширеніших та найважливіших сільськогосподарських культур в Україні та Світі. Навіть попри те що значна частина традиційної степової зони вирощування є окупованою рф, його частка в структурі посівних площ залишається досить великою, і наразі в нашій державі сконцентровано близько 17% всіх посівних площ соняшника Світу (FAOSTAT, 2023; Kysylchuk et al., 2024). Продукція соняшника використовується в багатьох галузях, таких як кулінарія, кормовиробництво, хімічна промисловість, медицина та зелена енергетика (Nguyen et al., 2021; Puttha et al., 2023). Окрім економічної цінності соняшника, усе більший інтерес викликає також його фіторемедіаційний потенціал, що наразі є доволі актуальним питанням зважаючи на ступінь забрудненості ґрунтів важкими металами, нафтопродуктами та радіонуклідами (Paulo et al., 2023; Waseem et al., 2024).

Виду *H. annuus* властива висока екологічна пластичність та стабільність врожаю (Baraki et al., 2024; Jocković et al., 2025), що зумовлює розширення площ зайнятих під цією культурою в різноманітних агрокліматичних умовах. На сьогоднішній день збільшується асортимент гібридів та сортів соняшника (Önemli, & Önemli, 2023), відбувається інтенсифікація агровиробництва. Разом з цим тривають пошуки екологічно безпечних інструментів підвищення його продуктивності (Tkachuk et al., 2023). Одним з таких інструментів є оптимізація щільності стояння рослин в агропопуляції (Kayin et al., 2024; Manson et al., 2024; Olson et al., 2024; Tomasi et al., 2024; Zhuykov et al., 2024; Li, & Liu, 2025; Sinan et al., 2025). Щільність популяції культурних рослин в популяційній біології та екології розглядається як передумова виникнення внутрішньовидової та міжвидової конкуренції рослин в агрофітоценозі за всі життєво необхідні ресурси, такі як доступ до сонячного світла та елементи живлення

(Zlobin et al., 2022). Вживання особин, едифікаторні властивості і, відповідно, продуктивність популяції дуже тісно пов'язані зі щільністю (Zhu et al., 2023; Nam et al., 2024; Villalobos et al., 2024). Саме тому вивчення реакції рослин на щільність агропопуляції є надзвичайно важливим. Встановлення оптимальної щільності популяції культурних рослин вимагає урахування багатьох еколого-агротехнічних чинників (гібрид, погодно-кліматичні умови, характеристики ґрунту, фон живлення та ін.). Це питання в останні роки постало більш гостро на фоні аридизації клімату в багатьох регіонах Світу (Dong et al., 2023; Gu et al., 2024).

Необхідним елементом у вивченні впливу щільності посіву соняшника на його агрономічно цінні характеристики є аналіз морфологічних ознак (Lopez-Pereira et al., 2022). Відповідно, метою даної статті було висвітлення особливостей формування морфоструктури рослин соняшника на градієнті щільності посіву в умовах північно-східного Лісостепу України.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводились протягом вегетаційного періоду соняшника 2024 року на сільськогосподарських угіддях в межах с. Добрянське Охтирського району Сумської області. Матеріалом для дослідження слугував ранньостиглий гібрид NS 8004 (Інститут польовництва, м. Нові Сад, Сербія). Технологія вирощування – традиційна для Лісостепової зони, спосіб сівби – широкорядий. Дослідженням були охоплені три популяції соняшника на трьох різних ділянках (агросівах) площею 0,5 га. Загальна площа досліді – 1,5 га.

Густота стояння рослин на момент повної появи сходів визначалась за загальноприйнятою методикою, шляхом підрахунку кількості рослин в рядах на 1 метрі погонному (відрізок довжиною 14,28 м, при ширині міжряддя 70 см) 5-6 разів вздовж діагоналі поля, з подальшим переведенням у загальну густоту посіву. Отже, щільність трьох агропопуляцій на дослідних ділянках мала наступні значення: 55,2, 59,5 та 65,7 тис.шт./га.

Облік морфометричних параметрів *H. annuus* проводили у фазу дозрівання насіння. У рослин було визначено 18 морфопараметрів, з яких 10 – статичні метричні, 8 – статичні алометричні (Таб. 1). Досліджено по 40 рослин з трьох представлених агропопуляцій, загалом – 120 рослин.

Статистична обробка первинних даних з обліку морфопараметрів відбувалася шляхом аналізу статистичних рядів розподілу, точкового оцінювання, дисперсійного та кореляційного аналізів згідно з прийнятою в екології та сільському господарстві методикою (Tsarenko et al., 2000) в середовищі програм MS Excel та Statistica 10.

Мінливість ознак оцінювалася за допомогою коефіцієнта варіації (CV, %). Ступінь варіювання ознак визначалася згідно з прийнятою у морфології рослин шкалою: менше 7% – дуже низька; 7–12% – низька; 13–20% – середня; 21–40% – висока; більше 40% – дуже висока (Zlobin et al., 2022).

Вперше, для визначення стану рослин соняшника було оцінено їх морфологічну цілісність за допомогою індексу морфоінтеграції розробленого Ю.А. Злобіним

(Zlobin et al., 2022) Розрахунки здійснювались за формулою :

$$I = \frac{B}{0,5(n^2 - n)} * 100\%$$

де, I – індекс морфоінтеграції (цілісності) %, B – кількість статистично достовірних коефіцієнтів кореляції на рівні ймовірності 95%, n – кількість ознак.

Зважаючи на те що кореляційна матриця є симетричною, для визначення індексу бралися коефіцієнти кореляції нижче головної діагоналі.

Результати. За результатами дослідження встановлено статистично достовірні відмінності всіх морфопараметрів, за винятком лише діаметра суцвіття (Df) на різних варіантах щільності агропопуляції (табл. 2). Загалом, максимальні значення більшості морфоознак (72%) зафіксовані на варіантах з щільністю 55,2 та 59,5 тис.шт./га, при чому на останньому максимального значення досягли сім морфопараметрів (W, Wveg, Wgen, NI, S, LAR, ADR).

Ущільнення популяції соняшника достовірно зменшило діаметр стебла (D), з 1,71±0,043 см до 1,28±0,028 см. Наростання показника співвідношення висоти до діаметра (HDR) пропорційно щільності свідчить про розвиток тонкостебельності у рослин, що досить часто є наслідком загострення внутрішньопопуляційної конкуренції за кращий доступ до сонячного світла в ході якої стебла видовжуються і разом з цим тоншають.

Таблиця 1

Перелік морфометричних параметрів, які оцінювались у рослин соняшника

№	Назва морфопараметра	Умове позначення та формула для розрахунку	Одиниці виміру
Статичні метричні морфопараметри			
1	Висота рослин	H	см
2	Діаметр стебла	D	см
3	Діаметр суцвіття	Df	см
4	Загальна фітомаса	W	г
5	Маса вегетативних органів	Wveg	г
6	Маса суцвіття	Wf	г
7	Маса насіння з однієї рослини	Wgen	г/рослина
8	Кількість листків	NI	шт.
9	Площа одного листка	s	см ²
10	Загальна площа листкової поверхні	S	см ²
Статичні алометричні морфопараметри			
11	Площа листків на одиницю фітомаси	LAR = S/W	см ² /г
12	Відношення площі листків до діаметра стебла	ADR = S/(10×D)	см ² /мм
13	Співвідношення між висотою та діаметром стебла	HDR = H/D	см/см
14	Відносний приріст	HWR = H/W	см/г
15	Маса насіння на один листок	WgNI = Wg/NI	г/шт.
16	Репродуктивне зусилля	RE1 = (Wgen/W)×100	%
17		RE2 = (Wgen/S)×100	%
18		RE3 = (Wf/W)×100	%

Середні арифметичні значення морфометричних параметрів соняшника, їх мінливість та статистична достовірність

Ознака	Щільність популяції						Довірчий рівень
	55,2 тис.шт./га		59,5 тис.шт./га		65,7 тис.шт./га		
	$\bar{X} \pm S_x$	CV, %	$\bar{X} \pm S_x$	CV, %	$\bar{X} \pm S_x$	CV, %	
H	162,34±1,259	4,9	151,43±1,604	6,7	152,84±1,970	8,1	0,000007
D	1,71±0,043	15,9	1,44±0,032	13,9	1,28±0,028	10,8	0,000000
Df	13,14±0,294	14,1	12,40 ±0,208	10,6	12,50±0,245	12,4	0,085862
W	445,50±26,523	37,6	449,50±21,086	29,7	305,73±13,111	27,1	0,000001
Wveg	236,25±15,553	41,6	248,75±13,025	33,1	130,98±6,463	31,2	0,000000
Wf	209,25±12,001	36,3	200,75±8,766	27,6	174,75±7,373	26,7	0,032722
Wgen	74,50±4,266	36,2	77,50±3,033	24,8	61,25±2,270	23,4	0,001481
NI	10,55±0,334	20,2	13,98±0,395	17,9	11,60±0,320	17,4	0,000000
s	127,57±7,838	38,9	106,85±4,162	24,6	76,93±3,598	29,6	0,000000
S	1361,06±96,001	44,6	1487,81±69,592	29,6	906,49±53,040	37,0	0,000000
LAR	3,01±0,083	17,5	3,34±0,073	13,8	2,96±0,129	27,5	0,017000
ADR	77,18±4,112	33,7	102,03±3,171	19,7	70,12±3,626	32,7	0,000013
HDR	97,55±2,557	16,6	106,48±2,106	12,5	120,13±1,661	8,7	0,000000
HWR	0,43±0,030	44,4	0,36±0,015	26,6	0,54±0,024	28,0	0,000463
WgNI	7,25±0,460	44,1	5,69±0,272	30,3	5,39±0,216	25,4	0,000228
RE1	17,03±0,004	13,4	17,49±0,003	10,0	20,35±0,004	11,8	0,000000
RE2	5,84±0,002	23,6	5,33±0,001	15,7	7,48±0,005	38,4	0,001481
RE3	47,79±0,009	11,5	44,90±0,006	8,4	57,40±0,008	8,5	0,000000

Примітка : жирним шрифтом виділено статистично достовірний вплив чинника на морфопараметри на рівні ймовірності 95% ($p < 0,05$)

Загальна фітомаса (W) мала максимальне значення при щільності 59,5 тис.шт./га – 449,50±21,086 г, щільніші та зріджені посіви мали показники 305,73±13,111 та 445,50±26,523 г. За таким же характером формувалася й маса вегетативних органів (Wveg), збільшуючись при ущільненні до 59,5 тис.шт./га (Wveg = 248,75±13,025 г). Подальше ущільнення зменшило вегетативну масу до 130,98±6,463 г (65,7 тис.шт./га). Найбільший відносний приріст (HWR) зафіксовано у найбільш ущільнених посівах – 0,54±0,024 см/г.

Параметри листової поверхні рослин з поміж усіх варіантів щільності особливо вирізнялись при 59,5 тис.шт./га (NI = 13,98±0,395 шт., S = 1487,81±69,592 см², LAR = 3,34±0,073 см²/г, ADR = 102,03±3,171 см²/мм). Рослини у популяціях зі щільністю 55,2 та 65,7 тис.шт./га практично однаково забезпечені асиміляційною поверхнею у розрахунку на одиницю фітомаси (LAR = 3,01±0,083 та 2,96±0,129 см²/г, відповідно), однак варіант з найменшою щільністю мав перевагу у середній площі одного листка (s = 127,57±7,838 см²), середня кількість зелених листків відрізнялась не суттєво (NI = 10,55±0,334 шт. – 55,2 тис. та 11,60±0,320 шт. – 65,7 тис.). В ущільнених до 59,5 тис.шт./га посівах найбільшу частку від загальної кількості зелених листків займали листки середнього та верхнього ярусів, тоді як у переущільнених - лише верхнього ярусу. Щільне розміщення рослин у рядах спричинило затінення листків нижчих ярусів, які відіграють важливу роль у накопиченні насінням асимілянтів. Зменшення площі листків суттєво вплинуло на розподіл матеріально-енергетичних ресурсів між структурами вегетативної та генеративної сфер.

По мірі ущільнення посівів дещо знизились параметри генеративних структур, особливо це стосується маси

суцвіття (Wf), яка зменшилася з 209,25±12,001 г при 55,2 тис.шт./га до 174,75±7,373 г при 65,7 тис.шт./га. Діаметр суцвіття (Df) на всіх варіантах, окрім 55,2 тис.шт./га (Df = 13,14±0,294 см), практично не відрізнявся. За виходом насіння з однієї рослини (Wgen) перевагу мав варіант популяційної щільності 59,5 тис.шт./га (Wgen = 77,50±3,033 г/рослина), тоді як при 55,2 тис.шт./га цей показник був дещо меншим – 74,50±4,266 г/рослина, з найущільненішого посіву вихід насіння був мінімальним (Wgen = 61,25±2,270 г/рослина).

Окремі алометричні ознаки з генеративної сфери мали чітку тенденцію до зменшення (WgNI) або збільшення (RE1, RE3) при збільшенні популяційної щільності. Зокрема, маса насіння на один листок була найбільшою при 55,2 тис.шт./га (WgNI = 7,25±0,460 г/шт.) і при подальшому ущільненні закономірно зменшувалась. Натомість, рослини у популяції з найбільшою щільністю відрізнялися високим репродуктивним зусиллям (RE1 = 20,35±0,004%; RE2 = 7,48±0,005%, RE3 = 57,40±0,008%). Витрати органічної речовини на формування суцвіття (RE3) та насіння (RE1) суттєво зросли по мірі ущільнення, що є типовою реакцією багатьох видів рослин на дію стресових чинників, яка направлена саме на мінімізацію непродуктивних затрат ресурсів організму.

Мінливість метричних морфопараметрів на всьому діапазоні щільності варіювала від дуже низької до дуже високої, проте для більшості ознак властива висока мінливість. По мірі ущільнення з 55,2 до 65,7 тис.шт./га, найменш мінливою серед всіх ознак виявилась висота рослин (H), коефіцієнт варіації (CV) якої коливався з 4,9 до 8,2%. При щільності популяції 55,2 тис.шт./га найсильніше варіювали показники з вегетативної сфери,

такі як маса вегетативних органів (W_{veg}) та загальна фітомаса (W) коефіцієнти варіації яких становили 41,6 та 36,7%, відповідно, тоді як у наступних варіантах вони були істотно меншими. Також на цьому варіанті, порівняно з іншими, сильніша мінливість у площі листової поверхні ($s - 38,9\%$, $S - 44,6\%$) та маси генеративних структур ($W_f - 36,3\%$, $W_{gen} - 36,4\%$).

Серед алометричних параметрів при найменшій щільності дуже сильно варіювали відносний приріст (HWR) – 44,4%, відношення площі листків до діаметра стебла (ADR) – 33,7%, маса насіння на один листок (W_{gNI}) – 44,1%. Найбільша мінливість практично усіх параметрів характерна для варіанту 55,2 тис.шт./га свідчить про те, що в цій популяції рослини доволі різноманітні за своєю морфоструктурою та розмірними ознаками, тоді як при більшій щільності диференціація особин помітно менша.

Аналіз статистичних рядів розподілу виявив закономірне зменшення розмірів більшості рослин по мірі ущільнення посівів. У якості ключових розмірних параметрів було обрано висоту рослин (H), загальну площу листової поверхні (S) та загальну фітомасу (W). Для візуалізації отриманих результатів побудовані гістограми розподілу частот трапляння за основними розмірними ознаками при різній щільності популяції (Рис. 1).

Наведені гістограми свідчать про те, що за щільності 55,2 тис.шт./га в популяції найчастіше зустрічались особини з висотою 155–160 см. Однак при цьому спостерігається доволі виражена правостороння асиметрія, що вказує на домінування високих рослин. В даному випадку багато рослин досягли максимальної висоти, характерної для гібриду NS 8004 – 165–175 см. За показниками площі листової поверхні розподіл особин досить добре апроксимується кривою нормального розподілу.

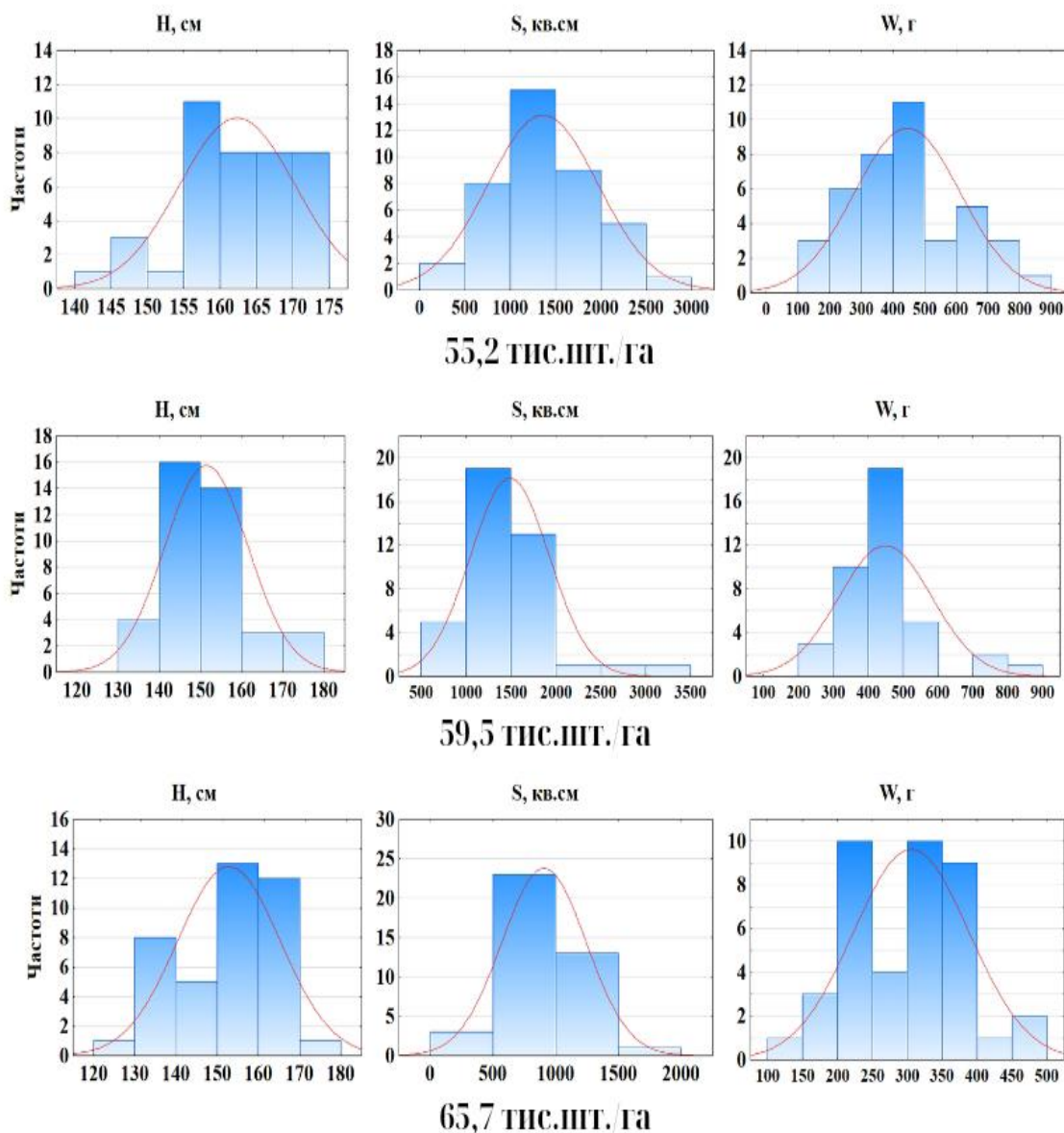


Рис. 1. Розподіл частот трапляння особин за основними розмірними ознаками (H , S , W) при різній щільності популяції

У цій популяції переважали особини у яких листкова поверхня мала середню площу – 1000–1500 см², особини з площею понад 1500 см² траплялись дещо рідше. Для загальної фітомаси притаманна слабка лівостороння асиметрія, що також вказує на переважання у популяції екземплярів середніх за розміром. Усе це дає підстави стверджувати, що популяційна щільність 55,2 тис.шт./га була найсприятливішою для розвитку рослин, оскільки вищі рослини мали кращу позицію в агрофітоценозі, що дозволило їм сформувати достатню листкову поверхню і, відповідно, накопичити більшу фітомасу.

При щільності популяції 59,5 тис.шт./га, на відміну від попереднього варіанту, особини з середньою висотою (140–160 см) мали більш відчутну перевагу над низькими та високими особинами, що показує апроксимація розподілу, наближена до нормального статистичного розподілу. Натомість розподіл частот трапляння особин за площею листкової поверхні показав чітко виражену лівосторонню асиметрію. Таким чином, дана популяція в основному представлена особинами з середньою площею листкового апарату (1000–1500 см²), тоді як особини з листковою поверхнею більше 2000 см² траплялись значно рідше, ніж у популяції з найменшою щільністю. Маса більшості рослин була у межах 400–500 г, що також вказує на перевагу особин середнього розміру. Особин з великою фітомасою було досить мало.

В найущільненіших посівах висота рослин здебільшого була у межах 140–170 см. Однак при цьому окремі особини були дуже низькими та дуже високими. Рослини у цій популяції здебільшого сформували невелику листкову поверхню, а за загальною фітомасою особини практично «вирівнялись», оскільки тут зафіксовані як і дрібні особини, так і досить великі. У цьому випадку, ймовірно, мав місце взаємовплив особин при їх щільному розміщенні в рядах: на ділянках з високою щільністю вищі рослини пригнічували розвиток нижчих. Це зумовило здрібнення значної маси рослин у цій популяції.

Одним з найбільш важливих показників стану рослин у фітопопуляціях є зкорельованість морфопараметрів (Skliar et al., 2016; Sherstiuk & Popovych, 2018; Zlobin et al., 2022). Вища зкорельованість вказує на більшу інтеграцію (цілісність) морфологічної структури. Відповідно, зменшення цього показника є індикатором негативного впливу стресових чинників різної природи. Динаміка індексу морфоінтеграції (I) на досліджуваному діапазоні популяційної щільності наведена на рис. 2. Розрахунки індексу морфоінтеграції показали суттєву різницю між мінімальною та максимальною щільністю агропопуляції, яка становила майже 10%. Варіанти зі щільністю 55,2 та 59,5 тис.шт./га відрізнялися не суттєво – різниця склала лише 1,3%. Порівняння індексів морфоінтеграції підтвердило той факт, що серед трьох градацій чинника популяційної щільності, найбільш оптимальним був варіант 55,2 тис.шт./га.

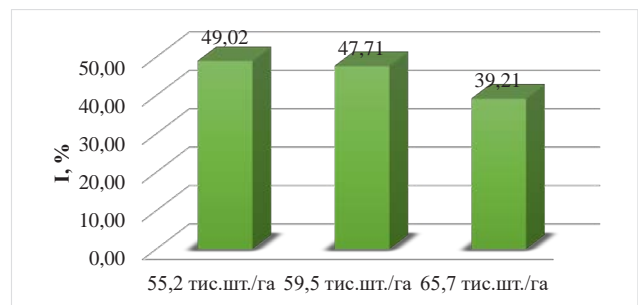


Рис. 2. Морфоінтегрованість особин соняшника залежно від щільності популяції, %

Обговорення. Результати даного дослідження підтвердили негативну дію надмірного ущільнення посівів на розвиток рослин соняшника, що відзначилось змінами у морфоструктурі рослин. За щільності популяції 55,2–59,5 тис.шт./га рослини найкраще проявили свої сортові особливості, маючи краще сформований габітус. При наростанні щільності, рослини ставали менш конкурентоспроможними та вразливими до негативної дії абіотичних чинників, що збігається з даними досліджень проведених в умовах Степу та Лісостепу України (Kohut et al., 2020; Kalenska et al., 2020; Pinkovskyi, & Tanchuk, 2021). Популяція *H. annuus*, як і будь-яка агропопуляція, показала себе як система, практично не здатна до регуляції чисельності особин. У цьому дослідженні описано зменшення розмірних ознак рослин по мірі збільшення щільності популяції. Це вказує на те, що рослини гібриду NS 8004 реалізували механізм «мініатюризації» при надмірному ущільненні посіву, як один з механізмів саморегуляції (Zlobin et al., 2022).

Відомо що особливості морфоструктури та варіація розмірних ознак це завжди результат прямого та непрямого впливу різноманітних природних та агротехнічних чинників (Kolosok, 2023; Hutianskyi, & Kolomatska, 2024). Як наголошували у своєму дослідженні А. Мижіс та співавтори (Мижіс et al., 2021), щільність агропопуляції посилює прояв фенотипічних властивостей соняшника. Однак довготривалі дослідження, проведені з охопленням широкого діапазону популяційної щільності (Pinkovskyi, & Tanchuk, 2021), показали, що густина посіву, як фактор, який впливає на розвиток рослин, має більш помітний ефект при проходженні соняшником перших етапів онтогенезу. Разом з тим під час цвітіння та повної зрілості найбільший ефект мали особливості вирощуваного гібриду. У цьому дослідженні охоплено дуже вузький діапазон популяційної щільності при короткотривалому спостереженні, тому повною мірою судити про прояв фенотипічних властивостей гібриду NS 8004 наразі передчасно. Перспективи подальшого проведення досліджень у цьому напрямку створює практична відсутність наукових досліджень щодо особливостей росту, розвитку та продуктивності гібриду NS 8004.

У вітчизняній літературі накопичена низка наукових праць, присвячених морфоознакам та морфоадаптаціям різних культур: гарбуза (Хуейїн Чена et al., 2021; Trotsenko et al., 2023), кукурудзи на зерно (Tsyhanskyi,

& Mykutskiy, 2024), редьки олійної (Tsytsiura, 2024a; Tsytsiura, 2024b). Досить часто при вивченні аспектів формування врожайності оцінюються кореляційні зв'язки між структурними елементами та величиною отриманого врожаю (Kalenska et al., 2020; Baraki et al., 2024; Kendarini et al., 2025) проте мало вивченим залишається рівень зкорельованості морфоструктурних ознак як показник оптимальності умов вирощування і передумова підвищення врожаю (Trotsenko et al., 2023). Перспективним є вивчення віталітетної структури агропопуляцій, дослідження в цьому напрямку вже розпочалися (Tykhonova et al., 2021; Tsyhanskyi, & Mykutskiy, 2024; Tsytsiura, 2024a). У таких дослідженнях, як і при вивченні рідкісних видів дикорослих рослин, дослідники часто спираються на досить обмежену кількість морфологічних ознак з визначенням комплексного віталітетного індексу. Це з одного боку дозволяє дослідити життєвий стан рослин неруйнівними методами, а з іншого може ускладнити оцінку життєвості особин у різних популяціях (Zlobin et al., 2022). Наразі визначення інформативних показників життєвого стану культурних рослин та їх адаптаційних

можливостей, в контексті оптимізації технології вирощування, ще потребує більш ґрунтового вивчення.

Висновки. Аналіз морфометричних параметрів рослин соняшника надав об'єктивну інформацію щодо впливу ущільненості посівів на їхній розвиток та формоутворення. Встановлено, що середні значення багатьох параметрів зменшувались при ущільненні понад 59,5 тис.шт./га. Також виявлено, що по мірі ущільнення всі морфопараметри, окрім висоти, стали менш варіабельними, що свідчить про однорідність особин в популяціях з найбільшою щільністю. Виявлено, що в ущільнених посівах реалізується стратегія рослин до мініатюризації як результат внутрішньопопуляційної конкуренції. При щільності агропопуляції 55,2 тис.шт./га морфологічна структура особин була найбільш цілісною, що вказує на оптимальні умови для розвитку рослин, тоді як подальше ущільнення призводило до поступової дезінтеграції морфоструктури рослин. Таким чином, найоптимальнішим варіантом щільності посівів, який забезпечить високу продуктивність рослин та, відповідно, високий врожай гібриду NS 8004 в умовах нестійкого зволоження лісостепової зони, є 55,2 тис.шт./га.

Бібліографічні посилання:

1. Baraki, F., Gebregergis, Z., Belay, Y., Teame, G., Gebremedhin, Z., Berhe, M., Fisseha, D., Araya, G. & Gebregergis, G. (2024). Identification of adaptable sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes using yield performance and multiple-traits index. *Heliyon*, 10 (9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29405>
2. Dong, S., Wang, G., Li, X., & Kang, Y. (2023). A Trade-Off between the Growing Performance and Sowing Density of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) under Fertigation in an Arid Saline Area. *Agronomy*, 13(1), 179. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy13010179>
3. FAOSTAT (2023). FAO statistics division. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
4. Gu, X., Cheng, Z., Du, Y., Cai, H., Li, Y., Li, Y., Fang, H., & Sun, S. (2024). Optimizing planting density to improve growth, yield and resources use efficiencies of winter oilseed rape under ridge-furrow film mulching. *Journal of Integrative Agriculture*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jia.2024.04.028>
5. Hutianskyi, R. A., & Kolomatska, V. P. (2024). Vplyv norm vysivu na biometrychni pokaznyky ta vrozhaunist novykh hibrydiv soniashnyku [Effect of Seeding Rates on Biometric Parameters and Yield of New Sunflower Hybrids]. *Seleksiia i nasinnytstvo*, (126), 62-73. doi: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2024.318864> (In Ukrainian).
6. Jocković, J., Grahovac, N., Milovac, Ž., Jocković, M., Jocić, S., Jeromela, A. M., & Cvejić, S. (2025). Exploring *Helianthus* Species for Resilience to Drought During the Critical Reproductive Stage. *Plants*, 14(4), 631. doi: <https://doi.org/10.3390/plants14040631>
7. Kalenska, S., Ryzhenko, A., Novytska, N., Garbar, L., Stolyarchuk, T., Kalenskyi, V., & Shytiy, O. (2020). Morphological features of plants and yield of sunflower hybrids cultivated in the Northern part of the Forest-Steppe of Ukraine. *American Journal of Plant Sciences*, 11(08), 1331-1344. doi: <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.118095>
8. Kayın, G. B., Kayın, H., & Göksoy, A. (2024). Effects of Plant Density on Micronutrient Uptake in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Varieties. *Turkish Journal of Field Crops*, 29(1), 9-17. doi: <https://doi.org/10.17557/tjfc.1349344>
9. Kendarini, N., Herwati, A., Novansyah, R. A., & Ardianini, N. R. (2025). Determining the Relationship Between Yield and Yield Components in Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Agriprecision & Social Impact*, 2(1). doi: <https://doi.org/10.62793/japsi.v2i1.51>
10. Kolosok, I. (2023). Osoblyvosti formuvannia urozhaivosti hibrydiv soniashnyku v umovakh Pivnichno-Skhidnoho lisostepu Ukrainy [Features of the yield formation of sunflower North-Eastern forest steppe of Ukraine]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriiia «Ahronomiia i biolohiia»*, 49(3), 32-39. doi: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.3.5> (In Ukrainian).
11. Kohut, I. M., Valentiuk, N. O., & Shchetnikova, L. A. (2020). Formuvannia produktyvnosti soniashnyku zalezho vid hustoty stoiannia roslyn v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Formation of sunflower productivity depending on plant density in the Southern Steppe of Ukraine]. *Tavriiskiyi naukoviyi visnyk*, 112, 93–98. doi: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.112.13> (In Ukrainian).
12. Kysylchuk, A., Zakharchenko, E., Rudska, N., Bolshakov, Y., Kriuchko, L., Berdin, S., Hlupak, Z., Burko, L., Tkachenko, R., Hnitetskyi, M., & Zubko, O. (2024). The share of sunflower in the structure of cultivated areas of Ukraine in pre-war and wartime. *Modern Phytomorphology*. 2024. Vol. 18. P. 18-22. doi: 10.5281/zenodo. XXXXXX (10.5281/zenodo. Year-Volume-PDFNo .).
13. Li, S., & Liu, Z. (2025). Optimising sunflower yields: insights from meta-analysis on fertilisation impact and planting strategies for enhanced crop productivity in China. *Plant, Soil and Environment*, 71(1). doi: <https://doi.org/10.17221/303/2024-PSE>

14. López-Pereira, M., Casal, J. J., & Hall, A. J. (2022). Is the tolerance of sunflower floret differentiation to crop density associated with the stem growth and with the oil yield response to density?. *Field Crops Research*, 275, 108362. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108362>
15. Manson, J., Denton, M., Lake, L., Brand, J., Taylor, J., & Sadras, V. (2024). Benchmarking the response of grain yield to plant population density across environments and management: A case study for faba bean. *European Journal of Agronomy*, 154, 127106. doi: <http://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127106>
16. Mijić, A., Liović, I., Sudarić, A., Gadžo, D., Duvnjak, T., Šimić, B., Jug, D., & Markulj Kulundžić, A. (2021). Influence of plant density and hybrid on grain yield, oil content and oil yield of sunflower. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 86(1), 27-33.
17. Nam, K. H., Han, S. M., Chun, S. J., Lee, J. W., & Kim, J. (2024). Effect of seeding density on the weediness potential of transgenic plants: a case study on sunflowers. *Journal of Ecology and Environment*, 48. doi: <https://doi.org/10.5141/jee.24.064>
18. Nguyen, D. T. C., Nguyen, T. T., Le, H. T., Nguyen, T. T. T., Bach, L. G., Nguyen, T. D., Trinh, D. N., Dai-Viet N. Vo & Van Tran, T. (2021). The sunflower plant family for bioenergy, environmental remediation, nanotechnology, medicine, food and agriculture: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 3701-3726. doi: <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01266-z>
19. Olson, N. A., Trostle, C., Meyer, R., & Hulke, B. S. (2024). Canopy closure, yield, and quality under heterogeneous plant spacing in sunflower. *Agronomy Journal*, 116(5), 2275-2283. doi: <https://doi.org/10.1002/agj2.21655>
20. Önemli, F., & Önemli, G. (2023). Evaluation of Wild Annual Sunflower Species for Some Morphological, Phenological, and Agronomic Characters under Field Conditions. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(4), 857-870. doi: <https://doi.org/10.33462/jotaf.1222792>
21. Paulo, A. M. S., Caetano, N. S., Castro, P. M. L., & Marques, A. P. G. C. (2023). Phytomanagement of Zn- and Cd-Contaminated Soil: Helianthus annuus Biomass Production and Metal Remediation Abilities with Plant-Growth-Promoting Microbiota Assistance. *Soil Systems*, 7(3), 69. doi: <https://doi.org/10.3390/soilsystems7030069>
22. Pinkovskyi, H., & Tanchyk, S. (2021). Management of productivity of sunflower plants depending on terms of sowing and density of standing in arid conditions of the Right-bank Steppe of Ukraine. *Agronomy science*, 76(1), 21-38. doi: <https://doi.org/10.24326/as.2021.1.2>
23. Puttha, R., Venkatachalam, K., Hanpakdeesakul, S., Wongsaj, J., Paramethanuwat, T., Srean, P., Pakeechai, K. & Charoenphun, N. (2023). Exploring the potential of sunflowers: Agronomy, applications, and opportunities within bio-circular-green economy. *Horticulturae*, 9(10), 1079. doi: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9101079>
24. Sinan A. Abas, Zeyad A. Abdulhamed, & Nihad M. Abood. (2025). Impact of climate change on the growth, yield, and sunflower cultivar performance under the influence of plant density. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 56 (Special), 10-19. doi: <https://doi.org/10.36103/9z5web62>
25. Skliar V., Sherstuk M., Skliar Iu. (2016). Algorithm of comprehensive assessment of individual's morphological integration of plants contrast biomorfs. QUAERE 2016 (Vol. VI.), Interdisciplinary Scientific Conference, Czech Republic, Praha, 393 – 403.
26. Sherstuk M. Yu., Popovych S. Iu. (2018). Zapovidni dendrosozoavtokhtony Ukrainkoho Polissia [Protected dendrosoautochthonous plants of Ukrainian Polissya] K.: «TsP "Kompyrnt"», 272 s. (in Ukrainian).
27. Tkachuk, O. P., & Bondaruk, N. V. (2023). Faktory intensyfikatsii ta ekolohizatsii vyroshchuvannia soniashnyku [Factors of intensification and ecologization of sunflower cultivation]. *Ahrarni innovatsii*. 2023.№ 18. 120-127. doi: <https://doi.org/10.32848/agraar.Innov.2023.18.17>. (In Ukrainian).
28. Tomasi, T. C., Reis, L. C., Taira, T. L., Soares, J. S., Tomiozzo, R., Uhlmann, L. O., Streck, N.A. & Sorgato, J. C. (2024). Plant Density and Location: Optimization of Growth and Quality of Cut Sunflower in Tropical and Subtropical Environments. *Plants*, 13 (19), 2810. doi: <https://doi.org/10.3390/plants13192810>
29. Trotsenko, V. I., Zhatova, H. O., Kovalenko, I. M., Pysarenko, P. V., Skliar, Y. L., & Bondarieva, L. M. (2023). Efektyvnist vykorystannia morfometrychnoho analizu dlia identyfikatsii sortiv harbuza [Efficiency of using morphometric analysis for identification of pumpkin varieties]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii «Ahronomiia i biolohiia»*, 51(1), 120-128. doi: <https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.1.14> (In Ukrainian).
30. Tsarenko, O.M, Zlobin, Yu. A., Skliar, V.H. & Panchenko, S.M. (2000). Kompiuterni metody v silskomu hospodarstvi ta biolohii [Computer methods in agriculture and biology]. Univ. Knyha, Sumy, 203 (in Ukrainian).
31. Tsyhanskyi, V. I., & Mykutskyi, Yu. V. (2024). Formuvannia vitalitetnykh taktik kukurudzy za riznoi hustoty stoiannia hibrydiv riznykh hrup styhlosti. [Formation of vitality tactics of maize at different planting densities of hybrids of different maturity groups]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 2024.№ 2 (33). С. 42-54 doi: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2024-2-4> (In Ukrainian).
32. Tsytsiura, Y. (2024a). Evaluation of Ecological Adaptability of Oilseed Radish (*Raphanus sativus* L. Var. Oleiformis Pers.) Biopotential realization in the system of criteria for multi-service cover crop. *Journal of Ecological Engineering*, 2024, 25(7), 265–285. doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/188603>
33. Tsytsiura, Y. (2024b). Compensatory and Yield Indicators of Oilseed Radish Depending on the Parameters of its Agroecosystem Design. *Acta fytotechnica et zootechnica*, 27(4), 331-350. <https://doi.org/10.15414/afz.2024.27.04.331-350>
34. Tykhonova O., Skliar V., Sherstuk M., Butenko A., Kyrylchuk K., Bashtovyi M. (2021). Analysis of *Setaria glauca* (L.) P. Beauv. population's vital parameters in grain agrophytocenoses. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*. 77, 1. 36–46. doi: 10.5755/j01.arem.77.1.25489
35. Villalobos, F. J., Sadras, V. O., & Fereres, E. (2024). Plant Population Density and Competition. In *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture* (pp. 165-176). Cham: Springer International Publishing. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-69150-8_12

36. Waseem, M., Khilji, S. A., Tariq, S., Jamal, A., Alomrani, S. O., & Javed, T. (2024). Phytoremediation of heavy metals from industrially contaminated soil using sunflower (*Helianthus annuus* L.) by inoculation of two indigenous bacteria. *Plant Stress*, 11, 100297. doi: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100297>
37. Xuejin Chena, Songta He, Lina Jiang, Xinzheng Li, Weili Guo, Bihua Chena, Junguo Zhoua, Viktoriia Skliar (2021). An efficient transient transformation system for gene function studies in pumpkin (*Cucurbita moschata* D.). *Scientia Horticulturae*, №1, P.1-12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110028>
38. Zhu, J., Lukić, N., Pagel, J., & Schurr, F. M. (2023). Density dependence of seed dispersal and fecundity profoundly alters the spread dynamics of plant populations. *Journal of Ecology*, 111 (8), 1735-1748. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14142>
39. Zhuykov, O. G., Lavrenko, S. O., Lavrys, V. Yu. & Kotovska, J. S. (2024). Formation of economically valuable traits by hybrids of the sunflower (*Helianthus annuus ornamentalis* (Multiflorus)) under organic growing technology. *International Journal of Agricultural Technology* 20(6):2605-2618.
40. Zlobin, Yu. A., Skliar, V. G., & Klymenko, G. O. (2022). Biologija ta ekologija fitopopuljatsii [Biology and ecology of phytopopulations]. *Universytetska knyga, Sumy*, 512 (In Ukrainian).

Berdin I. V., Master of Ecology, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Skliar V. H., Doctor (Biological Sciences), Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Morphostructural changes in *Helianthus annuus* plants at different densities of agropopulations

*Annual sunflower (*Helianthus annuus* L.) is one of the most widespread and important crops in Ukraine and the world. In population biology and ecology, the population density of cultivated plants is considered as a prerequisite for the emergence of intraspecific and interspecific competition of plants in the agrophytocenosis for all vital resources, such as access to sunlight and nutrients. Accordingly, the purpose of this article was to study the peculiarities of the morphostructure formation of the *H. annuus* population on the sowing density gradient in the northeastern forest-steppe of Ukraine.*

*According to the results of the study, statistically significant differences of all morphoparameters were found, except for the inflorescence diameter (*Df*) at different variants of agricultural population density. In general, the maximum values of most morphological traits (72%) were recorded in the variants with densities of 55.2 and 59.5 thousand units/ha, with the latter reaching the maximum value of 7 morphological parameters (*W*, *Wveg*, *Wgen*, *NI*, *S*, *LAR*, *ADR*). The highest variability of almost all parameters is characteristic of the variant 55.2 thousand units/ha, which indicates that in this population plants are quite heterogeneous in their morphostructure and size characteristics, while at higher densities the differentiation of individuals is much lower. The analysis of statistical distribution series revealed a natural decrease in the size of most plants as the crops are densified. All this gives grounds to assert that the population density of 55.2 thousand units/ha was the most favorable for plant development, since taller plants had a better position in the agrophytocenosis, which allowed them to form a sufficient leaf surface and, accordingly, accumulate more phytomass. The calculations of the morpho-integration index showed a significant difference between the minimum and maximum densities of the agro-population, which was almost 10%. The variants with densities of 55.2 and 59.5 thousand units/ha did not differ significantly – the difference was only 1.3%. Comparison of morpho-integration indices confirmed the fact that among the three gradations of the population density factor, the variant of 55.2 thousand units/ha was the most optimal. At present, the determination of informative indicators of the vital state of cultivated plants and their adaptive capabilities, in the context of optimization of cultivation technology, still requires a more thorough study.*

Key words: *Helianthus annuus* L., agropopulation, morphometry, population density, agrophytocenosis, competition, morphological integrity, habitus, morphological variability.