

## ВПЛИВ КОМАХОЗАПИЛЕННЯ НА ВИХІД ТА ОЛІЙНІСТЬ НАСІННЯ ГІБРИДІВ *HELIANTHUS ANNUUS* L.

О. Д. ЗАРОЧЕНЦЕВА<sup>1</sup>, А. В. ЖУК<sup>1</sup>, М. М. ФЕДОРЯК<sup>1</sup>, Л. В. ЧЕРЛІНКА<sup>1</sup>,  
М. В. ТВЕРДОХЛІБ<sup>1</sup>, П. В. ГЕРАСИМЮК<sup>1</sup>, В. Р. ЧЕРЛІНКА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
58012, м. Чернівці, вул. Коцюбинського, 2

<sup>2</sup>Університет Павла Йозефа Шафарика в Кошице, Природничий факультет, Інститут географії, Словаччина  
e-mail: o.zarochentseva@chnu.edu.ua; a.zhuk@chnu.edu.ua; m.fedorjak@chnu.edu.ua;  
cherlinka.liubov@chnu.edu.ua; herasyimiuk.pavlo@chnu.edu.ua; vasyi.cherlinka@upjs.sk

Робота присвячена дослідженню впливу комахозапилення на якісні і кількісні показники насіння 14 високопродуктивних автофертильних гібридів *Helianthus annuus* L. п'яти виробників, вирощених в умовах Прут-Дністерського межиріччя. Проаналізовано наступні компоненти структури врожаю олійного соняшника: суха маса 1000 сім'янок, суха маса ядра з кошика, суха маса лушпиння з кошика, вологість і олійність ядра сім'янок. Проведено двофакторний дисперсійний аналіз впливу гібриду соняшника та способу запилення на олійність зернівок. Доведено, що залежно від особливостей гібриду та комахозапилення олійність в досліджених зразках коливалась в широких межах: від 43 до 71 %. Найнижчим вмістом олії характеризуються гібриди P62LE122 та P64LE25 (Pioneer). Найвищим показником олійності характеризуються гібриди СИ Неома, СИ Суматра, СИ Експерто (Syngenta) та гібрид Євр. Белла (Euralis). У гібриду LG5665M (Limagrain) встановлено велику варіабельність вмісту олії у насінні, вилученому з різних екземплярів рослин. Результати кореляційного аналізу показують статистично значущий зв'язок між діаметром кошиків і сухою масою 1000 сім'янок і масою всього лушпиння з кошика. Встановлено високий позитивний статистично достовірний зв'язок між діаметром кошика та сухою масою ядра з усього кошика. В умовах вільного комахозапилення він зростає з 0,721 до 0,773, що підтверджує збільшення загальної врожайності. Отримані за допомогою двофакторного дисперсійного аналізу статистично значущі дані показують середнє збільшення олійності зернівок соняшнику в середньому на 5 %. На основі отриманих результатів для гібридів СИ Експерто, Євр. Белла та MAS87A рекомендовано використання мобільних пасік для отримання більш продуктивної сировини.

**Ключові слова:** *Helianthus annuus* L., запилення, олійність, автофертильні гібриди, статистичний аналіз

**Вступ.** Дикі популяції соняшника звичайного (*Helianthus annuus* L.) автостерильні. Ця ознака зберігалася й у всіх культурних сортів до 1960 року (Astiz et al., 2011). У зв'язку зі стрімким розширенням площ під соняшником у світі та переміщенням посівів із зон з високим потенціалом родючості ґрунтів у зони з жорсткими ґрунтово-кліматичними умовами, фактор самостерильності сортів *H. annuus* став лімітуючим для зростання врожайності. Просування культури соняшнику відбувалося, як правило, в регіони з нестачею комах-запилювачів або несприятливими метеорологічними умовами для їхньої активності. Крім цього, різко зросло застосування хімічних засобів захисту рослин під час цвітіння соняшнику. Все це поставило сорти-популяції в нерівні умови при зіставленні їх з міжлінійними гібридами, як правило, відселектованими на високу самофертильність (Vanceanu et al., 1985; Xanthopoulos, 1991). Отже, підвищення запилюваності стало одним з пріоритетних напрямів селекції соняшнику на врожайність. Як наслідок,

практично усі сучасні сорти й гібриди *H. annuus* автофертильні з частковим (15–60 %) або високим (58–90 %) ступенем самозапилюваності (Astiz et al., 2011).

Як показують окремі дослідження, незважаючи на самофертильність, кінцеві кількісні та якісні показники врожайності гібридів *H. annuus* у значній мірі залежать від наявності комах-запилювачів (Degrandi-Hoffman & Chambers, 2006; Vartual et al., 2018; Perrot et al., 2019). Попри вагомий вплив диких антофільних комах на насінневу продуктивність агроценозів, на практиці збільшення врожайності ентомофільних культур досягається керованим запиленням бджолою медоносною (Greenleaf & Kremen, 2006; Лісогурська та ін., 2021). *Apis mellifera* L., 1758 краще адаптована для запилення соняшника, ніж інші групи комах, за рахунок певних особливостей будови: досить довгий хоботок; здатність запам'ятовувати форму квітки; повідомляти одна одну про місцезнаходження і характер джерела їжі; відкривати квітки, недоступні для

більш дрібних і слабких комах; переносити пилок; велика чисельність особин у колонії. Окрім того, бджіл можна використовувати для запилення в оптимальні фенологічні фази розвитку культури (Wojtaszek & Maier, 2014).

Численними дослідженнями показано, що до запилення соняшнику бджолами поліпшує показники структури врожаю, знижує пустозерність, позитивно впливає на хімічний склад ядра (Андрієнко та ін., 2016; Silva et al., 2018; Кулинич, Соловйова, 2021). Зауважимо, що запліднення і формування сім'янок у *H. annuus* залежить не тільки від запилення квіток комахами або вітром, а й обумовлено іншими факторами. Значна частина порожніх сім'янок, іноді до 20 %, розташованих у центральній частині кошика, утворюється внаслідок дефіциту ґрунтової вологи, високих температур і низької відносної вологості повітря під час цвітіння (Никитчин, 1993; Андрієнко та ін., 2016). Тому важливість ґрунтово-кліматичних показників не можна недооцінювати. Gloria Degrandi-Hoffman і Mona Chambers (2006) здійснюючи оцінку самозапилення соняшника встановили широкий розмах варіювання значень зав'язування відносно вільного запилення. Олійність соняшника визначається перш за все генетичними особливостями сорту або гібриду та умовами проростання, зокрема гідротермічним режимом у період формування насіння. Максимальній реалізації врожайного потенціалу сприяє дотримання положень технологічної карти. Разом з тим, сучасні високоолеїнові гібриди володіють високим рівнем адаптивності та значно менше залежать від умов вирощування, ніж їхні попередники (Абуобайд та ін., 2011; Макляк, 2020).

Навіть у межах одного кошика спостерігається суттєва відмінність маси й олійності сім'янок. У периферійній зоні кошика сім'янки, як правило, великовагові, містять більше олії, ніж у центральній (Никитчин, 1993, 2002). Н. М. Леонова зі співавторами (2016) показали, що контрастні погодні умови статистично значущо впливають на прояв рівня вмісту олії та білка в ядрі сім'янок й ефект гетерозису в гібридів першого покоління. За даними останніх досліджень (Домарацький та ін., 2020; Сидякіна, Павленко 2021), надлишкове внесення азотних добрив знижує олійність сім'янок на фоні загального підвищення врожайності, а внесення мікродобрив дозволяє скоригувати негативний вплив.

S. Chabert зі співавторами встановили, що комахозапилення сприяло збільшенню кількості та маси сім'янок на кошик, а також підвищило вміст олії у насінні в середньому на 5,5 % (Chabert et al., 2022). Подібну тенденцію помітив

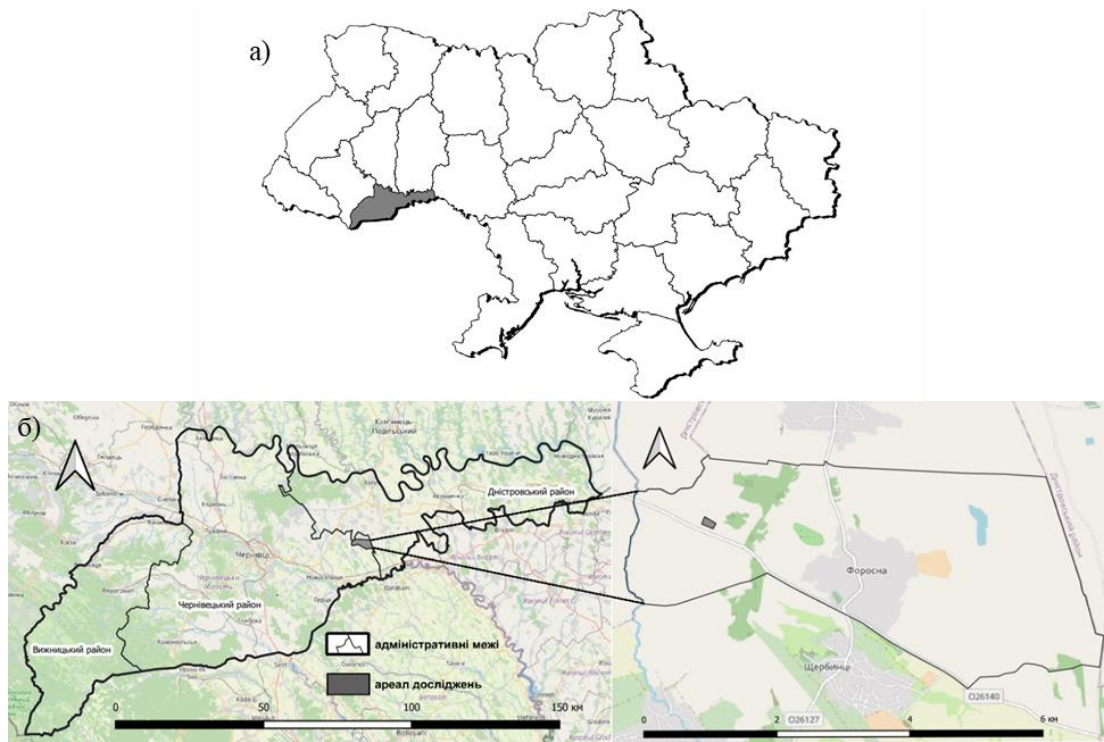
ще у 1981 році F. D. Parker (Parker, 1981) та пізніше у 2008 році А. М. АYTEKIN і N. Çağatay (Aytekin, Çağatay, 2008). Показаний позитивний вплив бджолозапилення на хімічний склад і співвідношення жирних кислот та токоферолу у сім'янках *H. annuus* (Silva et al., 2018). Водночас роль комах-запилювачів у збільшенні виходу насіння і підвищенні вмісту олії сучасних високопродуктивних олійних гібридів соняшника досліджено недостатньо.

Зважаючи на вищезазначене, мета роботи полягала у перевірці впливу запилення комахами на вихід та олійність насіння автофертильних гібридів *H. annuus*.

**Матеріали та методи досліджень.** Експеримент було закладено на полі агрохолдингу «Контінентал Фармерз Груп» кластеру «Буковина» у Чернівецькій області України (Рис. 1а) з локалізацією у адміністративних межах с. Форосна Чернівецького району (Рис. 1б). Територія поля приурочена до Новоселицького природного району Прут-Дністерського межиріччя (Рідуш та ін., 2016).

Клімат ареалу визначається його розташуванням у широкій Новоселицькій улоговині, де поверхня отримує до 1700 Вт/м<sup>2</sup> сонячної енергії за рік і сформувалися найтепліші у регіоні кліматичні умови (Холявчук, 2019; Коржик, 2021). Середня температура повітря у січні становить  $-5^{\circ}\text{C}$ , у липні  $+20^{\circ}\text{C}$ . Весна відносно коротка – близько 70 днів. Залежно від напрямку переміщення повітряних мас температура може змінюватися від  $-27^{\circ}\text{C}$  до  $+33^{\circ}\text{C}$ . Літо помірно тепле, інколи – жарке. Пересічна температура повітря особливо не змінюється і в найтеплішому місяці – липні – становить від  $18^{\circ}\text{C}$ . Найвищі температури сягають  $+39^{\circ}\text{C}$ . На літні місяці припадають річні максимуми опадів, проте крім місяці можуть бути дуже посушливими. Осінь до середини жовтня – тепла, суха і малохмарна, у другій половині – прохолодна з туманами і слабкими опадами. Середньорічна температура повітря становить  $+10^{\circ}\text{C}$ . Зима м'яка з відлигами: упродовж зимових місяців буває до 50 днів з відлигою. Середня кількість опадів взимку майже втричі менша, ніж у літній період. Характерні ранні весняні та ранні осінні приморозки (Рідуш та ін., 2016; Холявчук, 2019).

Згідно результатів ґрунтового обстеження території фонові для експериментального поля є агропромислова група ґрунтів 8бл – чорноземи несолонцюваті і слабосолонцюваті на щільних глинах середньозмітні. Дані ґрунти володіють високою водоутримуючою здатністю, вміст гумусу сягає 4 %. Структура ґрунту має агрономічно цінний характер, багато мікроагрегатів розмірами близько 1 см. Завдяки високому вмісту колоїдів насиченість поживними речовинами висока.

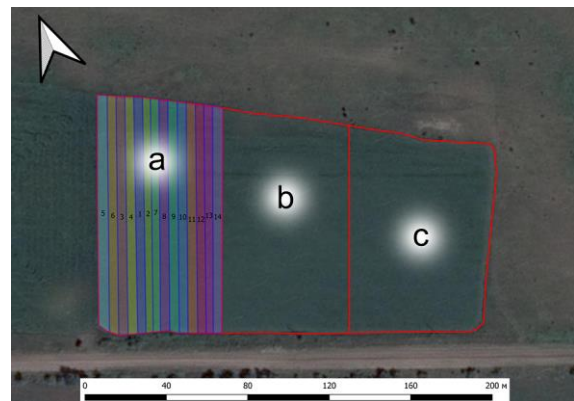


**Рис. 1. Географічне розташування регіону досліджень в межах України (а) та Чернівецької області (б)  
 \*для фону використано дані OSM – Open Street Maps  
 Fig. 1. Geographical location of the study area within Ukraine (a) and Chernivtsi region (b)  
 \*Open Street Maps data (OSM) is used for the background**

**Схема дослідю.** Матеріалами для досліджень слугували 14 високопродуктивних гібридів соняшнику п'яти виробників – «Syngenta», «Euralis», «Limagrain», «Pioneer» та «MAS Seeds». Дослідне поле було поділено на 3 рівні сектори (Рис. 2). На поле припадало по сім проходів сівалки, причому проходи для I-го та III-го варіантів дослідю були прямими, а для II-го – зворотніми, через що нумерація гібридів для II-го варіанту на схемі носить зворотний характер (Табл. 1). Кожен сектор містив 14 гібридів, відповідно кожен з них був представлений на полі у 3 повторностях.

Оскільки обробіток ґрунту не був досліджуваним фактором, він мав однорідний характер, проводився одночасно і високоякісно на всіх ділянках дослідю. Оранку та інші прийоми обробки ґрунту виконували через усі ділянки повторностей перпендикулярно до їх довгих сторін, щоб можливі випадкові чинники однаково впливали на всі варіанти дослідю. На дослідному полі не допускали роз'ємних борозен і звальних гребенів, а ґрунтообробні знаряддя розверталися за межами ділянок.

Для досягнення цих показників оранка велася в одну сторону з холостим зворотним ходом.



**Рис. 2. Схема розташування варіантів у повтореннях на дослідному полі (48.3256124; 26.40426)**

**Fig. 2. Scheme of the arrangement of variant repetitions on the experimental field (48.3256124; 26.40426)**

**Таблиця 1**

**Table 1.**

**Схема проходів сівалки та повторень дослідю**

**Scheme of seeding passes and repetitions of the experiment**

Сектор	1 (a)							2 (b)							3 (c)																											
Прохід сівалки	3	2	1	4	5	6	7	4	3	2	1	5	6	7	5	4	3	2	1	6	7																					
Номер гібриду	5	6	3	4	1	2	7	8	9	10	11	12	13	14	8	7	6	5	4	3	2	1	10	9	12	11	14	13	9	10	7	8	5	6	3	4	1	2	11	12	13	14

Кожен сектор містив по 9 рядів соняшнику одного гібриду. Ізоляцію кошиків проведено по прямій вздовж довгої сторони поля, яка була рівновіддалена від бокових сторін. При цьому кожен 3-й кошик з 9 на лінії було ізольовано мішками з агроволокна. Отже, для кожного гібриду було отримано 3 кошики  $\times$  3 сектори = 9 кошиків, недоступних комахам-запилювачам, і до них підібрали 9 кошиків із вільним доступом запилювачів. Окрім аналогічного діаметру, додатковою вимогою вибору дослідних рослин було їх зростання неподалік одна від одної, щоб умови освітлення, ґрунтові характеристики та інші показники були максимально подібними.

Відібране в межах експерименту насіння гібридів соняшника відповідає якісним показникам, які висуваються до соняшникового насіння, що використовують для продовольчих потреб і виробництва олеїнової кислоти (ДСТУ 7011:2009). Олійність визначали в лабораторії Контінентал Фармерз Груп фактичним експрес-методом на інфрачервоному аналізаторі ІНФРАСКАН-1050.

Статистичну обробку та візуалізацію результатів дослідження проведено із використанням інструментальних засобів мови статистичних обчислень R-statistic (R Development Core Team, 2022). При цьому залучені методи дисперсійного, кореляційного та регресійного аналізів.

У поставленому експерименті досліджується вплив двох якісних факторів на вихід та олійність насіння гібридів *H. annuus*: 1 – діяльність *A. mellifera* (наявність або відсутність); 2 – набір гібридів *H. annuus* у кількості 14 одиниць. Дія та взаємодія згаданих факторів – це додаткова надбавка (або зниження) олійності, яка виходить при їх поодинокому чи спільному застосуванні. Отже, багатофакторний експеримент побудовано за повною факторіальною схемою, в якому вивчається два фактори, котрі можуть потенційно впливати на олійність насіння соняшнику в 14 градаціях (за кількістю гібридів): усього  $2 \times 14 = 28$  варіантів. Поставлений дослід належить до одиничних, адже його закладено в окремому географічному пункті. Використана схема організації польового дослідження – взаємно ортогональна, оскільки в кожному з його повторень представлені всі варіанти схеми. Вона дозволяє методом дисперсійного аналізу розчленувати загальне варіювання олійності відносно рівнів факторів А та В, у тому числі встановити випадкове варіювання.

**Результати та їх обговорення.** В одному кошику соняшника на момент дозрівання може міститися до 8 тисяч сім'янок, які мають різний ступінь стиглості, вивпненість, вологість і кількість сухих речовин. Це зумовлено особливостями будови суцвіття соняшника та різновіковістю трубчастих квіток, з яких розвиваються майбутні

насінини. Відповідно, результати вимірювання олійності після такого складного комплексу впливів, значно різняться і їх аналіз представляє високий інтерес.

Отримані дані інтрепретовані у вигляді скрипкової діаграми (Рис. 3), яка поєднує графіки розмахів і ядерної оцінки функції щільності (Adler & Kelly, 2020). У поставленому експерименті, незалежно від варіацій факторів А та В, чітко виділяються три групи гібридів – з високою, середньою і низькою олійністю. Це дає підстави при спільному аналізі з рівнем досягнутої врожайності обґрунтовано рекомендувати вилучення окремих гібридів із виробничого процесу як неефективних. Залежно від особливостей гібриду олійність в досліджених зразках коливалась у широких межах: від 35 до 70 % (Рис. 3). Найнижчим вмістом олії характеризуються гібриди Pioneer: P62LE122 та P64LE25. У гібридів СИ Конді (Syngenta) та LG5665M (Limagrain) встановлено велику варіабельність вмісту олії у насінні, вилученого з різних екземплярів рослин. Найвищим показником олійності характеризуються гібриди Syngenta: СИ Неома, СИ Суматра, СИ Експерто та гібрид Євр. Белла (виробник Euralis).

Для гібридів СИ Експерто, Євр. Белла та MAS87A (виробник Maisadour semences) встановлено достовірне збільшення вмісту олії у насінні у варіанті із вільним запиленням. Отже, для цих гібридів можна рекомендувати використання мобільних пасік для отримання більш продуктивної сировини.

З урахуванням зазначеного загальну нульову гіпотезу для дисперсійного аналізу можна сформулювати так: вільне запилення та гібриди соняшника жодним чином не впливають на олійність насіння, а відмінності, що спостерігаються між груповими середніми є несуттєвими і випадковими. Альтернативна гіпотеза у простому викладі, відповідно, стверджує, що відмінності все ж не випадкові. Щоб прийняти або відхилити нульову гіпотезу, порівняли міжгрупову і внутрішньогрупову дисперсії. Обидві ці величини по своєму оцінюють дисперсію генеральної сукупності, і при вірній нульовій гіпотезі їх відношення наближається до 1, тобто внутрішньогрупова і міжгрупову дисперсії не відрізняються.

Насправді, у випадку двофакторного дисперсійного аналізу необхідно сформулювати цілих 3 нульових гіпотези:

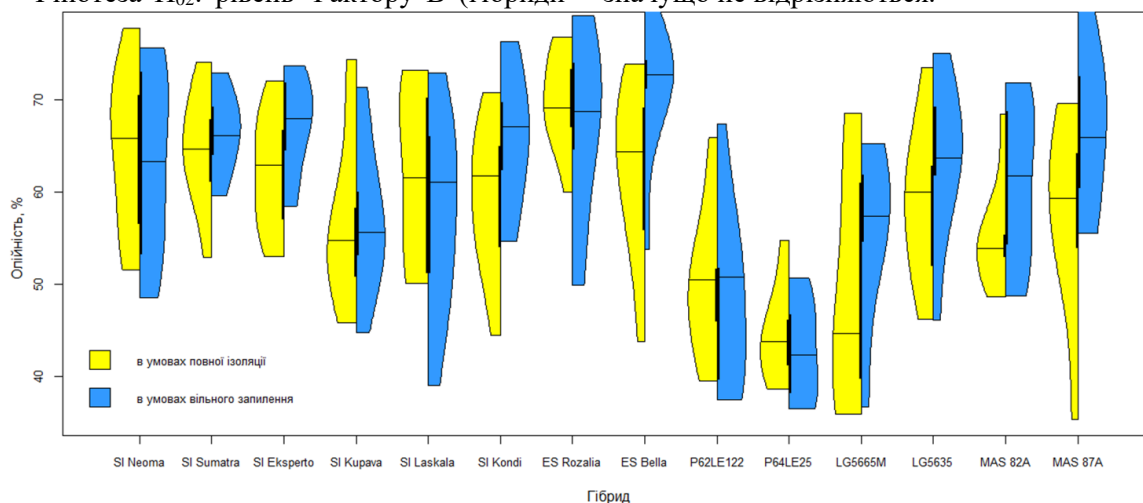
1. Гіпотеза  $H_{0AB}$ : про відсутність взаємодії Фактору А (діяльність комах-запилювачів) і Фактору В (гібридів *H. annuus*).

2. Гіпотеза  $H_{01}$ : рівень Фактору А (діяльність комах-запилювачів) не впливає на виміряні значення вмісту олії, тобто середні значення вибірок, які стосуються різних рівнів Фактору А, не

відрізняються статистично значимо (їх відмінність може бути пояснена лише випадковістю вибірок).

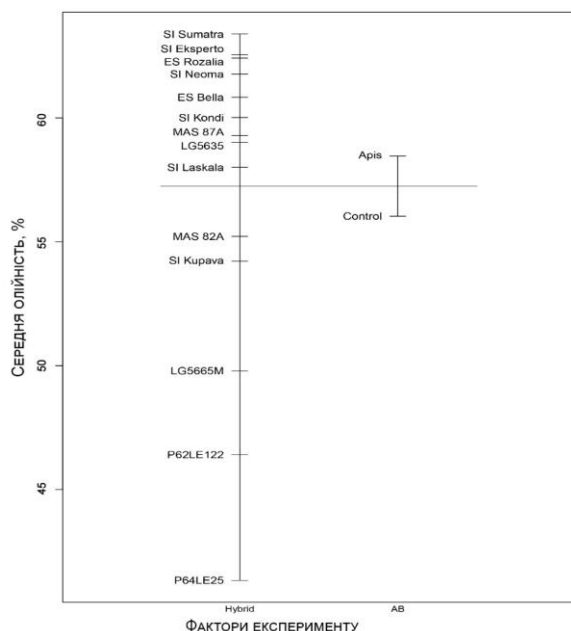
### 3. Гіпотеза $H_{02}$ : рівень Фактору В (гібриди

*H. annuus*) не впливає на виміряні значення вмісту олії, тобто середні значення вибірок, які стосуються різних рівнів Фактору В, статистично значущо не відрізняються.



**Рис. 3. Вміст олії у насінні гібридів соняшника (%)**  
**Fig. 3. Oil content in seeds of sunflower hybrids (%)**

Для кращого розуміння аналізованих ефектів побудовано графік дизайну експерименту. На ньому відображаються середні значення змінної-відгуку (масова частка олії у перерахунку на суху речовину, %) відповідно до кожного рівня досліджуваних факторів (Рис. 4).



**Рис. 4. Графік дизайну експерименту**  
**Fig. 4. Experiment design chart**

З отриманого графіка чітко спостерігається, що найбільша різниця в середніх значеннях олійності насіння соняшнику пов'язана з індивідуальними біологічними особливостями кожного окремого гібриду, тоді як ефект запилення *A. mellifera* чи іншими комахами-запилювачами виражено меншою мірою.

Середні значення змін масової частки олії у перерахунку на суху речовину (%) у досліджених групах помітно варіюють. Результати вітчизняних і закордонних дослідників підтверджують високу варіабельність показника олійності у ядрі олійних гібридів соняшнику (Леонова та ін., 2016; Silva et al., 2018; Макляк, 2020). На зміну олійності (від 42 до 70 %) залежно від гібриду соняшника (Табл. 2) додатково накладаються ефекти адитивного впливу комах-запилювачів, які мають меншу, проте помітну, силу взаємодії (в середньому близько 5%). Саме тому завдання двофакторного дисперсійного аналізу – з'ясувати, чи пов'язані ці відмінності з досліджуваними факторами.

Проведений нами експеримент належить до повнофакторного (англ. full factorial experiment), оскільки в ньому реалізуються всі можливі поєднання наявних рівнів факторів. Значна перевага такого дизайну експерименту – можливість з'ясувати наявність взаємодії між досліджуваними факторами. У рамках дисперсійного аналізу, під «взаємодією» (англ. Interaction) розуміють таку ситуацію, коли змінна-відгук поводить по-різному при різних поєднаннях досліджуваних факторів (Hothorn et al., 2014). Аналіз даних експерименту (Рис. 3, Табл. 2) показує, що існує певна група гібридів, які при вільному запиленні показують нижчу олійність, ніж при самозапиленні. Це факт дуже цікавий і вимагає проведення подальших досліджень саме для виявлення особливостей даного феномену.

Проведений двофакторний дисперсійний аналіз (Табл. 3) вказує на те, що чим ближче значення F-критерію Фішера до 1, тим менше є підстав

стверджувати, що внутрішньо- і міжгрупова дисперсії відрізняються. Отже, у такій ситуації немає підстав для відхилення сформульованих ви-

ще нульових гіпотез. У випадку значного перевищення значення F над 1, нульові гіпотези можна відхилити.

*Розвідувальний аналіз даних дисперсійного комплексу*

**Таблиця 2**

**Table 2.**

*Exploratory data analysis of the dispersion complex*

№	Фактор А, гібриди	Фактор В запильності комахами	Середня олійність сух.реч, %	Стандартне відхилення, %±	Варіабельність, %
1	СИ Неома	Apis	63,44	10,23	104,56
		Control	64,48	9,00	80,93
2	СИ Суматра	Apis	66,46	4,58	21,02
		Control	64,89	6,46	41,79
3	СИ Експерто	Apis	67,12	5,47	29,97
		Control	62,28	6,46	41,74
4	СИ Купава	Apis	57,29	8,32	69,29
		Control	57,22	9,45	89,34
5	СИ Ласкала	Apis	57,60	10,80	116,61
		Control	62,17	9,69	93,82
6	СИ Конді	Apis	65,76	7,97	63,54
		Control	59,31	8,23	67,66
7	Євр. Розалія	Apis	67,30	10,26	105,23
		Control	69,99	5,44	29,61
8	Євр. Белла	Apis	70,96	7,33	53,69
		Control	62,66	9,49	90,09
9	P62LE122	Apis	48,41	10,13	102,56
		Control	50,02	8,32	69,28
10	P64LE25	Apis	42,82	5,80	33,61
		Control	44,67	5,70	32,51
11	LG5665M	Apis	55,62	10,14	102,89
		Control	49,68	13,91	193,53
12	LG5635	Apis	63,77	8,79	77,22
		Control	59,04	8,61	74,14
13	MAS 82A	Apis	61,04	9,07	82,28
		Control	55,36	6,23	38,83
14	MAS 87A	Apis	66,74	9,09	82,58
		Control	57,86	10,99	120,74

**Таблиця 3**

*Результати дисперсійного аналізу експериментальних даних*

**Table 3.**

*Results of dispersion analysis of experimental data*

Фактори	Число ступенів свободи	Квадрати відхилень	Усереднені суми квадратів відхилень	F критерій Фішера	Pr(>F)
А	13	9634	741,1	9,883	$6,19 \times 10^{-16}***$
В	1	329	328,6	4,382	0,0376*
А:В	13	1058	81,4	1,085	0,3738
Остаточна дисперсія	204	15297	75,0		

Примітка: \*\*\* - 0.001 \*\* - 0.01 \* - 0.05

Критичне значення F-критерію визначається бажаним рівнем значущості і властивостями F-розподілу, форма якого повністю задається між- і внутрішньо-груповими ступенями свободи. Якщо F-значення, розраховане за експериментальними даними, перевищує критичне значення, нульові гіпотези про відсутність ефектів досліджуваних факторів чи їх комбінацій відхиляються. У стовпчику таблиці  $P_r (>F)$  показана ймовірність отримання F-значення, яке дорівнює чи перевищує розраховане за наявними вибірковими даними (за умови, що нульова гіпотеза вірна). Аналіз показує, що ця ймовірність для факторів проведеного експерименту має різне значення.

Якщо F-значення, розраховане за експериментальними даними, перевищує критичне значення, нульова гіпотеза про відсутність ефекту досліджуваного фактору відхиляється. Для комбінації факторів А:В це відношення перевищує 5% рівень значущості, отже, нульова гіпотеза  $H_{0AB}$  про відсутність взаємодії Фактору А і Фактору В є вірною. Таким чином, з досить високим ступенем впевненості ми можемо стверджувати, що дана комбінація АВ не створює істотного впливу на олійність насінин.

Водночас Гіпотеза  $H_{01}$ , може бути спростована на рівні значущості  $P=95\%$  (Табл. 3), тобто в реальності середні значення вибірок, які стосуються різних рівнів Фактору А статистично значимо відрізняються, а їх відмінність не може бути пояснена лише випадковістю вибірок.

Гіпотезу  $H_{02}$  відкидаємо на дуже високому рівні статистичної значущості  $\alpha=0,001$ , оскільки середні значення вибірок, які стосуються різних рівнів Фактору В відрізняються статистично значущо.

Результати кореляційного аналізу показують статистично значущий зв'язок на найвищому рівні довірчої ймовірності між діаметром кошиків і сухою масою 1000 сім'янок як для умов повної ізоляції так і при вільному запиленні. Отримані результати узгоджуються з літературними даними (Борисенко та ін., 2020). Встановлено зв'язок діаметру з масою всього лушпиння з кошика, причому коефіцієнти кореляції дуже високі – 0,824 та 0,843. Якщо порівняти їх з коефіцієнтами кореляції  $x_1$ - $x_2$  (0,613 та 0,581) то помічаємо, що у випадку із вільним запиленням він менший. На нашу думку, це може бути пов'язано з доступом комах запилювачів. За їх наявності запилення відбувається на ширшому спектрі квіток, котрі мають менший потенціал до автозапилення і до продуктивності загалом. Очевидно, з них в подальшому формуються не повністю виповнені сім'янки із недорозвиненими ядрами, які водночас мають повноцінне лушпиння. Цей факт і знижує коефіцієнт кореляції між

діаметром кошика та сухою масою 1000 сім'янок.

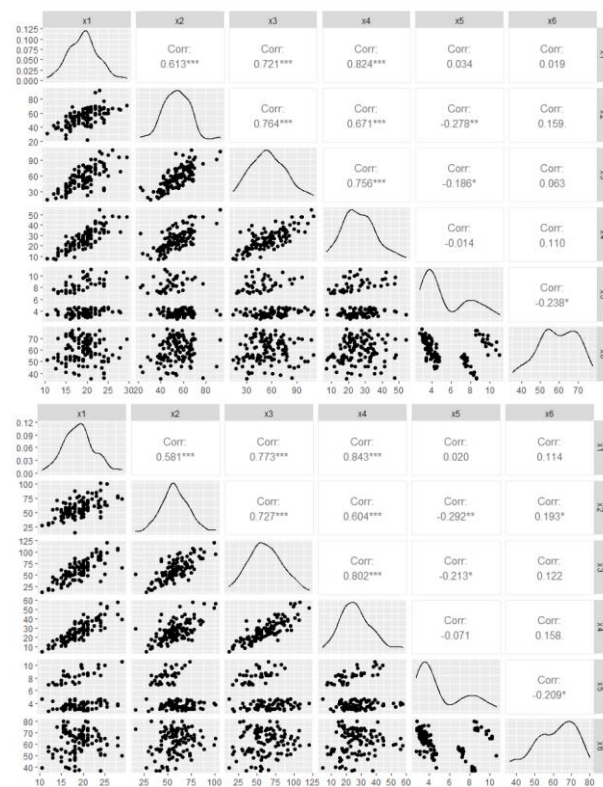


Рис. 5. Матриці діаграм розсіювання, діаграма ядерної оцінки функції щільності та коефіцієнти кореляції для різних рівнів фактору А: для умов повної ізоляції (а) та при вільному запиленні (б). Кодування змінних:  $x_1$  – діаметр сухого кошика, см,  $x_2$  – суха маса 1000 сім'янок, г;  $x_3$  – суха маса всього ядра з кошика, г;  $x_4$  – маса всього лушпиння з кошика, г;  $x_5$  – вологість, %;  $x_6$  – олійність, %, в перерахунку на суху речовину

Fig. 5. Matrices of scatter diagrams, nuclear estimation diagram of the density function and correlation coefficients for different levels of factor A: for conditions of complete isolation (a) and free pollination (b). Coding of variables:  $x_1$  – diameter of dry capitulum, cm,  $x_2$  – dry weight of 1000 seeds, g;  $x_3$  – dry weight of the entire kernel from the capitulum, g;  $x_4$  – mass of all husks from the capitulum, g;  $x_5$  – humidity, %;  $x_6$  – oil content, %, based on dry matter

Зауважимо високий позитивний статистично достовірний зв'язок між діаметром кошика та сухою масою ядра з усього кошика, причому у випадку із комахозапиленням він зростає з 0,721 до 0,773, що підтверджує збільшення загальної врожайності. Статистично значущими є також зв'язки між сухою масою 1000 сім'янок та сухою масою ядра зі всього кошика, масою лушпиння та вологістю. За умови вільного запилення значущим стає і зв'язок з олійністю ( $r=0,193$ ). Кореляція між олійністю і вологістю в даному випадку носить зворотний характер.

**Висновки.** Проведене порівняння варіантів експерименту без та із залученням комах-запилювачів

та встановлено їх статистично значущий прямий або опосередкований вплив окремі характеристики врожаю гібридів *H. annuus*.

Доведено коливання олійності в досліджених зразках від 43 до 71 % залежно від особливостей гібридів та способу запилення. Найнижчим вмістом олії характеризуються гібриди P62LE122 (48–50 %) та P64LE25 (43–45 %). Найвищим показником олійності характеризуються гібриди СИ Неома (63–64 %), СИ Суматра (66–65 %), СИ Експерто (67–62 %) та Євраліс Белла (63–71 %). У гібриду LG5665M встановлено велику варіабельність вмісту олії у насінні, вилученого з різних екземплярів рослин – до 194 %.

Отримані за допомогою двофакторного дисперсійного аналізу статистично значущі дані показують середнє збільшення олійності зернівок соняшнику в середньому на 5 %. Отже, в умовах сучасної системи землеробства при вирішенні завдання підвищення якості врожаїв *H. annuus*, навіть при використанні самофертильних гібридів, запиленню бджолами необхідно приділяти особливу увагу. Зокрема, для гібридів СИ Експерто, Євр. Белла та MAS87A рекомендовано використання мобільних пасік для отримання більш продуктивної сировини.

#### Список літератури:

1. Абуобайд А., Мельник А. В., Троценко В. И. Реализация адаптивного потенциала генотипов подсолнечника в условиях Иордании. *Селекция і насінництво*. 2011; 100: 131–138.
2. Андрієнко О. О., Андрієнко А. Л., Жужа О. О. Причины невивпненості насіння та кошика соняшнику. *Пропозиція*. 2016; 3: 60–68.
3. Борисенко В. В., Карнаух О. Б., Накльока Ю. І., Новак А. В., Усик С. В., Коваль Г. В. Вплив висоти рослин і діаметру кошиків на продуктивність соняшника залежно від густоти посіву та ширини міжрядь. *Таврійський науковий вісник*. 2020; 113: 28–34. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.113.4>
4. Домарацький Є. О., Добровольський А. В., Базалій В. В., Пічура В. І., Домарацький О. О. Соняшник: екологічні шляхи оптимізації його живлення: монографія. Херсон: Олді-плюс. 2020: 160.
5. ДСТУ 7011:2009. Соняшник. Технічні умови. (ISO 6107-1:1996, IDT). [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України. 2010: 11. <https://is.gd/1vyqne>
6. Коржик В. П. Новоселицька улоговина Енциклопедія Сучасної України : енциклопедія [електронна версія] / ред.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк та ін.; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2021; 23. URL: <https://esu.com.ua/article-72514>
7. Кулинич І. М., Соловійова Т. М. Вплив бджолозапилення на насінневу продуктивність соняшнику. *Бджільництво України*. 2021; 1(6): 44–48. <https://doi.org/10.46913/beekeepingjournal.2021.6.07>
8. Лісогурська Д. В., Лісогурська О. В., Фурман С. В., Адамчук Л. О. Забезпеченість бджолозапилення основних сільськогосподарських ентомофільних культур в Україні. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Тваринництво»*. 2021; 4(47): 92–98. <https://doi.org/10.32845/bsnau.lvst.2021.4.16>
9. Леонова Н. М., Кириченко В. В., Леонов О. Ю., Ільченко Н. К., Шелякіна Т. А. Мінливість ознак вмісту білка і олії у гібридів f1 соняшнику та закономірності їх успадкування. *Селекція і насінництво*. 2016; 109: 93–101. DOI: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2016.74198>
10. Макляк К. Наблизитися до 90 %. *The Ukrainian Farmer*. 2020. [Режим доступу]: <https://agrotimes.ua/article/nablyzytysya-do-90/>
11. Никитчин Д. И. Подсолнечник. Киев: Урожай. 1993: 192.
12. Никитчин Д. И. Подсолнечник: биохимия, селекция, возделывание. Запорожье: Пологи. 2002: 494.
13. Рідуш Б. Т., Дугчак М. В., Холявчук Д. І. Природно-антропогенні об'єкти Північно-Бессарабського Придністер'я: путівник наукової екскурсії конференції «Від географії до географічного українознавства: еволюція освітньо-наукових ідей та пошуків (до 140-річчя започаткування географії у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича» 12-13 жовтня 2016 р. / за ред. Б. Т. Рідуша. Чернівці: Технодрук. 2016: 24.
14. Холявчук Д. І. Регіональна кліматологія: навчальний посібник / Д. І. Холявчук. Чернівці: Чернівецький національний університет імені Ю. Федьковича. 2019: 168.
15. Adler D., Kelly S. T. Vioplot: violin plot. R package version 0.3.5. 2020. <https://github.com/TomKellyGenetics/vioplot>
16. Aytekin A. M., Çağatay N. Observations on the pollination of Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Mellifera*. 2008; 8(15): 2-7.
17. Astiz V., Iriarte L. A., Flemmer A., Hernández L. F. Self-compatibility in modern hybrids of sunflower (*Helianthus annuus* L.). fruit set in open and self-pollinated (bag isolated) plants grown in two different locations. *Helia*. 2011; 34(54): 129–138. <https://doi.org/10.2298/hel1154129a>
18. Bartual A. M., Bocci G., Marini S., Moonen A. C. Local and landscape factors affect sunflower pollination in a Mediterranean agroecosystem. *PLoS One*. 2018; 13(9): e0203990. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203990>
19. Chabert S., Mallinger R. E., Sénéchal C., Fougereux A., Geist O., Guillemard V., Leylavergne S., Malard C., Pousse J., Vaissière B. E. Importance of maternal resources in pollen limitation studies with pollinator gradients: A case study with sunflower. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2022; 330: 107887. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107887>
20. Degrandi-Hoffman G., Chambers M. Effects of honey bee (Hymenoptera: Apidae) foraging on seed set in self-fertile sunflowers (*Helianthus annuus* L.). *Environmental entomology*. 2006; 35(4): 1103–1108. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-35.4.1103>
21. Greenleaf S. S., Kremen C. Wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2006; 103(37):



13890-13895.

<https://doi.org/10.1073/pnas.0600929103>

22. Torsten H., Everitt B. S. A handbook of statistical analyses using R. CRC press, 2014: 456.
23. Parker F. D. Sunflower Pollination: Abundance, Diversity and Seasonality of Bees and Their Effect on Seed Yields. *Journal of Apicultural Research*. 1981; 20 (1): 49-61. <https://doi.org/10.1080/00218839.1981.11100473>
24. Perrot T., Gaba S., Roncoroni M., Gautier J. L., Saintilan A., Bretagnolle V. Experimental quantification of insect pollination on sunflower yield, reconciling plant and field scale estimates. *Basic and Applied Ecology*. 2019; 34: 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.09.005>
25. Silva C. A. S., Godoy W. A. C., Jacob C. R. O., Thomas G., Câmara G. M. S., Alves D. A. Bee pollination highly improves oil quality in sunflower. *Sociobiology*. 2018; 65(4): 583-590. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v65i4.3367>
26. Vranceanu A. V., Stoenescu F. M., Iouras M. A correlation between self-fertility and the melliferous index in sunflower. *Proc. of 11th Intern. Sunfl. Conf., Mar Del Plata, Argentina*, 10-13 March, 1985; 2: 697-702.
27. Wojtaszek J. W., Maier C. A microscopic review of the sunflower and honeybee mutualistic relationship. *International Journal of AgriScience*. 2014; 4(5): 272-282.
28. Xanthopoulos F. P. Seed set and pollen tube growth in sunflower styles. *Helia*. 1991; 14(14): 9-12.
7. Kulinich I. M., Solovyova T. M. Influence of diagnostic influence on seed productivity of sunflower. *Beekeeping of Ukraine*. 2021; 1(6): 44-48. <https://doi.org/10.46913/beekeepingjournal.2021.6.07> (In Ukrainian)
8. Lisohurska D. V., Lisohurska O. V., Furman S. V., Adamchuk L. O. Provision of bee pollination of the main agricultural entomophilic crops in Ukraine. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Livestock*. 2021; 4(47): 92-98. <https://doi.org/10.32845/bsnau.lvst.2021.4.16> (In Ukrainian)
9. Leonova N. N., Kyrychenko V. V., Leonov O. Yu., Ilchenko N. K., Sheliakina T. A. Variability of protein and oil contents in F1 sunflower hybrids and inheritance patterns. *Plant Breeding and Seed Production*. 2016; 109: 93-101. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2016.74198> (In Ukrainian)
10. Makliak K. Nablyztytsia do 90 %. *The Ukrainian Farmer*. 2020. [Rezhym dostupu]: <https://agrotimes.ua/article/nablyztytsya-do-90/> (In Ukrainian)
11. Nykytchyn D. I. *Podsolnechnik*. Kiev: Urozhai. 1993: 192. (In Russian)
12. Nykytchyn D. I. *Podsolnechnik: biokhimiia, selektsiia, vzdelyvanie*. Zaporozhie: *Pologi*. 2002: 494. (In Russian)
13. Ridush B. T., Dutchak M. V., Kholiavchuk D. I. Pryrodno-antropohenni obiekty Pivnichno-Bessarabskoho Prydnisteria: putivnyk naukovoi ekskursii konferentsii «Vid heohrafii do heohrafichnoho ukrainoznavstva: evoliutsiia osvithno-naukovykh idei ta poshukiv (do 140-richchia zapochatkuvannia heohrafii u Chernivetskomu natsionalnomu universyteti imeni Yurii Fedkovycha» 12-13 zhovtnia 2016 r. / za red. B. T. Ridusha. Chernivtsi: Tekhnodruk. 2016: 24. (In Ukrainian)
14. Holiavchuk D. I. Rehionalna klimatolohiia: navchalnyi posibnyk / D. I. Kholiavchuk. Chernivtsi: Chernivets. nats. un-t im. Yu. Fedkovycha. 2019: 168. (In Ukrainian)
15. Adler D., Kelly S. T. Vioplot: violin plot. R package version 0.3.5. 2020. <https://github.com/TomKellyGenetics/vioplot>
16. Aytekin A. M., Çağatay N. Observations on the pollination of Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Mellifera*. 2008; 8(15): 2-7.
17. Astiz V., Iriarte L. A., Flemmer A., Hernández L. F. Self-compatibility in modern hybrids of sunflower (*Helianthus annuus* L.). fruit set in open and self-pollinated (bag isolated) plants grown in two different locations. *Helia*. 2011; 34(54): 129-138. <https://doi.org/10.2298/hel1154129a>
18. Bartual A. M., Bocci G., Marini S., Moonen A. C. Local and landscape factors affect sunflower pollination in a Mediterranean agroecosystem. *PLoS One*. 2018; 13(9): e0203990. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203990>
19. Chabert S., Mallinger R. E., Sénéchal C., Fougeroux A., Geist O., Guillemard V., Leylavergne S., Malard C., Pousse J., Vaissière B. E. Importance of maternal resources in pollen limitation studies with pollinator gradients: A case study with sunflower. *Agriculture, Biological systems*. Vol. 14. Is. 1. 2022

## References:

1. Abuobaid A., Melnyk A. V., Trotsenko V. I. Realization of the adaptive potential of sunflower genotypes in the conditions of Jordan. *Plant Breeding and Seed Production*. 2011; 100: 131-138. (In Russian)
2. Andriienko O. O., Andriienko A. L., Zhuzha O. O. Prychyny nevyrovnenosti nasinnia ta koshyka soniashnyku. *Propozytsiia*. 2016; 3: 60-68. (In Ukrainian)
3. Borysenko V. V., Karnauh O. B., Nakleka Yu. I., Novak A. V., Usik S. V., Koval G. V. The influence of plant height and diameter of inflorescences on sunflower productivity depending on sowing density and row spacing. *Taurian Scientific Bulletin*. 2020; 113: 28-34. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.113.4> (In Ukrainian)
4. Domaratskyi Ye. O., Dobrovolskyi A. V., Bazalii V. V., Pichura V. I., Domaratskyi O. O. Soniashnyk: ekolohichni shliakhy optymizatsii yoho zhyvlennia: monohrafiia. Kherson: Oldi-plius. 2020: 160. (In Ukrainian)
5. DSTU 7011:2009. Soniashnyk. Tekhnichni umovy. (ISO 6107-1:1996, IDT). [Chynnyi vid 2010-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. 2010: 11. <https://is.gd/1vyqne> (In Ukrainian)
6. Korzhyk V. P. Novoselytska ulohovyna Entsyklopediia Suchasnoi Ukrainy : entsyklopediia [elektronna versiiia] / red.: I. M. Dziuba, A. I. Zhukovskyy, M. H. Zhelezniak ta in.; NAN Ukrainy, NTSh. Kyiv: Instytut entsyklopedychnykh doslidzhen NAN Ukrainy, 2021; 23. <https://esu.com.ua/article-72514> (In Ukrainian)

- Ecosystems & Environment*. 2022; 330: 107887. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107887>
20. Degrandi-Hoffman G., Chambers M. Effects of honey bee (Hymenoptera: Apidae) foraging on seed set in self-fertile sunflowers (*Helianthus annuus* L.). *Environmental entomology*. 2006; 35(4): 1103–1108. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-35.4.1103>
  21. Greenleaf S. S., Kremen C. Wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2006; 103(37): 13890-13895. <https://doi.org/10.1073/pnas.0600929103>
  22. Torsten H., Everitt B. S. A handbook of statistical analyses using R. CRC press, 2014: 456.
  23. Parker F. D. Sunflower Pollination: Abundance, Diversity and Seasonality of Bees and Their Effect on Seed Yields. *Journal of Apicultural Research*. 1981; 20 (1): 49-61. <https://doi.org/10.1080/00218839.1981.11100473>
  24. Perrot T., Gaba S., Roncoroni M., Gautier J. L., Saintilan A., Bretagnolle V. Experimental quantification of insect pollination on sunflower yield, reconciling plant and field scale estimates. *Basic and Applied Ecology*. 2019; 34: 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.09.005>
  25. Silva C. A. S., Godoy W. A. C., Jacob C. R. O., Thomas G., Câmara G. M. S., Alves D. A. Bee pollination highly improves oil quality in sunflower. *Sociobiology*. 2018; 65(4): 583-590. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v65i4.3367>
  26. Vranceanu A. V., Stoenescu F. M., Iouras M. A correlation between self-fertility and the melliferous index in sunflower. Proc. of 11th Intern. Sunfl. Conf., Mar Del Plata, Argentina, 10-13 March, 1985; 2: 697-702.
  27. Wojtaszek J. W., Maier C. A microscopic review of the sunflower and honeybee mutualistic relationship. *International Journal of AgriScience*. 2014; 4(5): 272–282.
  28. Xanthopoulos F. P. Seed set and pollen tube growth in sunflower styles. *Helia*. 1991; 14(14): 9–12.

## THE INFLUENCE OF INSECT POLLINATION ON THE YIELD AND OILINESS OF *HELIANTHUS ANNUUS* L. HYBRID SEEDS

**O. Zarochentseva, A. Zhuk, M. Fedoriak, L. Cherlinka, M. Tverdokhlib, P. Herasymiuk, V. Cherlinka**

*The work is devoted to the study of the insect pollination influence on the qualitative and quantitative indicators of the 14 high-productive autofertile Helianthus annuus L. hybrids by five producers, grown under conditions of the Prut-Dniester inter-fluve. The following components of the oilseed sunflower crop structure were analyzed: dry weight of 1000 seeds, dry weight of the kernel from the basket, dry weight of the husk from the basket, moisture and oil content of the kernel. A two-factor analysis of variance of the sunflower hybrid and the pollination method effects on the kernel oiliness was carried out. It was proved that depending on the characteristics of the hybrid and additional pollination, the oil content in the studied samples varied widely: from 43 to 71%. Hybrids P62LE122 and P64LE25 (Pioneer) are characterized by the lowest oil content. Hybrids SY Neoma, SY Sumatra, SY Experto (Syngenta) and hybrid ES Bella (Euralis) are characterized by the highest oil content. A large variability of the oil content in the seeds extracted from different plant specimens was established for the LG5665M (Limagrain) hybrid. The results of the correlation analysis show a statistically significant relationship between the capitulum diameter and the dry weight of 1000 seeds and the husk from entire capitulum weight. A highly positive statistically significant relationship was established between the diameter of the capitulum and the kernel from entire capitulum dry weight. Under conditions of free insect pollination, it increases from 0.721 to 0.773, which confirms the increase in overall yield. Statistically significant data obtained by means of two-factor variance analysis show an average increase in the oiliness of sunflower seeds by an average of 5%. On the basis of the obtained results for hybrids SY Experto, ES Bella and MAS87A use of a mobile apiary is recommended to obtain more productive raw materials.*

*Keywords: Helianthus annuus L., pollination, oiliness, autofertile hybrids, statistical analysis*

*Отримано редколегією 03.05.2022 р.*