

## ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОКОСМІВ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНО АРГУМЕНТОВАНОГО ДОБОРУ БІОПАЛИВНИХ КУЛЬТУР

О.В. Мудрак<sup>1</sup>, Т.В. Морозова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти» (м. Вінниця, Україна)  
e-mail: [ov\\_mudrak@ukr.net](mailto:ov_mudrak@ukr.net); ORCID: 0000-0002-1776-6120

<sup>2</sup>Національний транспортний університет (м. Київ, Україна)  
e-mail: [tetiana.morozova@ukr.net](mailto:tetiana.morozova@ukr.net); ORCID: 0000-0003-4836-1035

Одним із можливих напрямів розв'язання проблеми нестачі та подорожчання енергетичних ресурсів може стати розвиток в Україні біопаливної галузі, підґрунтям якого є науково аргументований добір рослин (стійких до регіональних полютантів) з урахуванням специфіки регіонів. У статті здійснено узагальнення наукових даних щодо особливостей пророщування деяких енергетичних культур, розглянуто можливість застосування мікрокосмів для аргументованого добору біопаливних культур. Дослідження проводили у мікрокосмних моделях, вивчали проростання насіння та біометричні параметри проростків *Brassica napus* L. та *Zea mays* L. Показано доцільність застосування мікрокосмів для екологічно аргументованого добору «біопаливних» культур. На основі застосування методу мікрокосмних моделей доведено стійкість *B. napus* до ацетату свинцю та чутливість до фунгіциду «Раксил ультра». Для захисту ріпаку від шкідників використовуються системні препарати з діючими речовинами диметоат, гамма-цигалотрин, альфа-циперметрин, тіаметоксам, флудиоксаніл, металаксил, імідаклоприд тощо. Інсектицид використовується для протруювання насіння перед посівом (у комплексі з фунгіцидом), а також для обробки посівів під час досягнення економічного порогу шкідливості. З'ясовано, що передпосівну обробку насіння ріпаку необхідно здійснювати нижчими концентраціями фунгіциду, порівняно з насінням *Z. mays*. Встановлено, що сорт Галицький характеризується найбільшою лабораторною схожістю насіння та найкращими морфологічними параметрами проростків. З'ясовано, що фунгіцид «Раксил ультра» у високій концентрації інгібує схожість насіння (на пізніх етапах проростання), ріст стебла, сиру та суху біомасу проростків кукурудзи, за низької концентрації виявлено збільшення сухої маси надземної частини. Лабораторна схожість насіння ріпаку інгібувалася на всіх етапах проростання. Жодна з досліджених концентрацій фунгіциду не впливає на сиру та суху біомасу проростків ріпаку, усі досліджені концентрації фунгіциду інгібують ріст кореня проростків ріпаку, а найбільша — ріст стебла.

**Ключові слова:** біоенергетичні культури, мікрокосмні моделі, сорти, ріпак.

### ВСТУП

Нині через високі ціни на нафту, похідні енергоносії, а також через загрозливу ситуацію для світового довкілля закономірно постає питання про альтернативні джерела енергії. Україна належить до енергодефіцитних країн, оскільки паливно-енергетичний комплекс значною мірою базується на імпорті енергетичної сировини [1], а власний видобуток не може повністю покрити потреби української економіки. Щороку Україна споживає близько 200 млн т умовного палива, з якого 53% власного виробництва. Енергетична політика переважно орієнтована на викопне

паливо, атомну енергетику. Мало уваги приділяється альтернативним видам палива. Коли мова йде про альтернативні джерела електроенергії, треба говорити про децентралізацію енергопостачання і про використання місцевого потенціалу з впровадження циркулярної економіки: надлишки соломи, тирса (в регіонах, де ведеться лісопереробка), шахтний метан та супутні гази можуть бути використаними як паливо. Одним із можливих напрямів розв'язання проблеми нестачі та подорожчання енергетичних ресурсів може стати розвиток біопаливної галузі, підґрунтям якого є науково аргументований добір рослин з урахуванням специфіки регіо-

нів (стійких до регіональних полютантів). У сезоні 2021/22 рр. до широкомасштабного вторгнення Росії Україна посідала третє місце у світовому рейтингу експортерів ріпаку (10%), у цьому маркетинговому році експортовано 2,7 млн т ( $\approx 0,73$  млн т біодизеля). Експорт в країни ЄС 85–95% врожаю ріпаку. Однак цей напрям стикається з дискусією щодо потенційної конкуренції з вирощуванням харчових продуктів і кормів для тваринництва та птахівництва. Певні обмеження для вирощування і виробництва біопалив з енергетичних культур встановлені на рівні директив ЄС RED і RED II (вводять критерії сталості для біопалив на транспорті і обмежують використання ріпаку для виробництва біодизеля і кукурудзи для виробництва біоетанолу). Г. Гелетуша вважає за доцільне «для України, не обмежувати на рівні директив ЄС RED і RED II вирощування і виробництво біопалив з енергетичних культур, а надати країнам право самостійно ухвалювати, що їм вигідніше за умови, що частка земель, на яких вирощуються енергетичні культури, не перевищуватиме 10% від загальної кількості сільськогосподарських земель» [3].

За оцінками експертів, в Україні не використовується за прямим призначенням до 4 млн га сільськогосподарських земель [2]. Вирощування сільськогосподарської продукції на таких землях не дає достатнього економічного прибутку, тому вони не обробляються аграріями. Це малопродуктивні, забруднені і деградовані землі. За результатами воєнних дій ця площа збільшується (додаються землі забруднені в результаті вибухів, пожеж, заміновані території).

Завдяки сприятливим ґрунтово-кліматичним умовам для вирощування рослин найперспективнішим видом біоенергетики для України є фітоенергетика як галузь біоенергетики, що базується на сировині рослинного походження. Врожайність енергетичних культур залежить від кліматичних, ґрунтових та інших умов. Культури мають різну потребу у водному режимі, можуть значно відрізнятись морозо- і посухостійкістю [4]. У сезоні 2021/2022 (липень 2021 –

червень 2022), чотири місяці якого припало на повномасштабну війну, Україна змогла експортувати 48,5 млн т зерна [3]. Експорт кукурудзи становив 23,4 млн т (на 5,8 млрд дол. США). Частка Китаю в загальному обсязі експорту української кукурудзи 36% (8,5 млн т), виробництво біоетанолу в Китаї в 2021 становило 3,4 млрд л (з 8,5 млн т/рік експортованої в Китай кукурудзи можливо виробити 3,2 млрд л біоетанолу).

Головними пріоритетами фітоенергетики є пошук дешевої сировини й створення необхідної інфраструктури для вирощування та перероблення біомаси за допомогою хімічних чи біологічних процесів у різні види біопалива: рідкі (біоетанол, 1- і 2- біопропаноли, біобутанол), газоподібні (метан) і тверді (гранули, пелети та брикети). Теплота згоряння етанолу становить 21,1 МДж/кг, біогазу (60% метану) – 21,8 МДж/кг, твердого біопалива – 15–18 МДж/кг залежно від типу сировини та її якості.

**Мета роботи** – використовуючи метод імітаційних моделей (мікрокосмів) обґрунтувати добір біопаливної культури, стійкої до імперативних антропогенних чинників регіону.

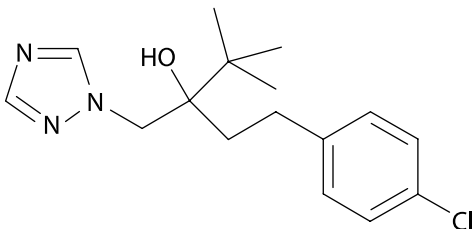
## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Традиційно енергетичними культурами є кукурудза (виробництво етанолу в промислових масштабах), ріпак (отримання біодизеля) та міскантус (виробництво біомаси). Вирощування ріпаку в світі перебуває у стадії піднесення, низка дослідників називають це «ріпаковою ейфорією». Попит на цю культуру в Україні постійно зростає (особливо з боку Європи), відповідно розширюються і площі під нею [7]. Сучасні технології вирощування ріпаку потребують чітких, продуманих заходів щодо захисту рослин від хвороб.

Вагомий внесок у висвітлення загальнотеоретичних і практичних аспектів ріпаківництва зробили українські та зарубіжні вчені: Ф.Ф. Адамець, В.І. Бойко, В.М. Бондаренко, П.С. Вишнівський, В.Д. Гречкосій,

О.Г. Дерев'янка, А.В. Іщенко, М.В. Калінчик, В.В. Лихочвор, О.О. Мітченко, Д.І. Нікітчина, А.А. Побережна, Р.Р. Проць, С.А. Середя, О.Г. Шайко, Стефан фон Крамон-Таубадель, Людвіг Штрівєр та інші науковці. Однак, практика вирощування біопаливних культур в Україні показує їх високу ураженість мікозами [8].

Універсальним та популярним фунгіцидом, який застосовується в Україні для захисту від грибкових захворювань слугує «Раксил ультра» (тебуконазол —  $C_{16}H_{22}ClN_3O$ ) [9; 10].



Залишається не до кінця розв'язаним стратегічне питання забезпечення енергетичної незалежності сільськогосподарського виробництва шляхом розширення вироблення біодизеля [11]. В зв'язку з цим виникає питання оптимізації посівів ріпаку з урахуванням регіональних особливостей. Для більшості територій України основним джерелом забруднення є автотранспорт, головним поллютантом пірогенної групи у викидах автомобілів виступає Плюмбум та його сполуки. Отже, під час добору біопаливних культур для відповідної території слід оцінити їх стійкість до зазначених інгредієнтів.

Ріпак (*Brassica napus* L.) — одна з найрентабельніших культур, доволі традиційна культура для українського сільського господарства. Висока маржа стимулює фермерів до нарощування виробництва цієї олійної та біопаливної культури. Відомо, що ріпак є певною мірою агресивною культурою, тому ці проекти треба реалізувати шляхом правильних систем господарювання, використання системи сівозмін, невиснажливих технологій, які не завдають шкоди ґрунтам. Є певний досвід у роботі з цією культурою, вона не є ворожою для

наших ґрунтів та екосистем. Утім екологи застерігають, що ця, загалом добра справа, потребує дуже виваженого підходу. Домогтися доброї врожайності без високопродуктивних сортів і гібридів та за недотримання технологій вирощування неможливо. За період сезонів 2009–2019 рр. у 20 областях України збільшилися площі посівів ріпаку. Найбільший приріст площ під ріпаком зафіксовано в аграріїв Дніпропетровщини (+85,44 тис. га). Під урожай 2020 р. площі сівби ріпаку озимого скоротилися майже на 200 тис. га, становивши 1,1 млн га проти 1,3 млн га роком раніше (–15%). Посушливі погодні умови в низці областей зашкодили в оптимальні терміни здійснити сівбу в запланованих масштабах. За попередніми підрахунками 4% посівів (понад 40 тис. га) не утворили сходів (URL: <https://kurkul.com/infographics/view/109>).

Аналіз результатів опитування (2403 респондентів), проведеного Міністерством аграрної політики та продовольства України (з 7 по 14 серпня 2023 р.) щодо планів та підготовки сільгоспвиробників до проведення посівної кампанії озимих під урожай 2024 р. (URL: <http://surl.li/nuvxo>) показав, що майже половина фермерів (45%) не планують істотно скорочувати посівні площі озимих культур. До того ж, 38% опитаних підприємців можуть збільшити посівні площі. 14% аграріїв зазначили, що цього року не сіятимуть озимі. Однак, структура озимих культур може зазнати змін. Зокрема, підприємства скоротять частку пшениці та ячменю, але збільшать площі під ріпак озимий. Загалом, посівні площі під озимими культурами можуть збільшитися на 8% (0,5 млн га) порівняно з минулим сезоном. Ключовим чинником розширення посівних площ залишається ріпак, посіви під ним можуть збільшитися майже на 40% до рекордних 1,9 млн га.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матеріалом дослідження слугувало насіння сортів *Brassica napus* L., наданих Івано-Франківським інститутом агропромислового виробництва: Дема, Черемош,

Демарка, Дембо, Дангал, Тисменицький, Света, Галицький та *Zea mays* L. сорту «Буковинський-3». Насіння пророщували в мікрокосмах із гнітом відкритого типу. Посівну якість визначали згідно з [5], довжину корінців [6]. Розчинений у воді кичень визначали методом Вінклера.

**РЕЗУЛЬТАТИ  
ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ**

**Аналіз посівної якості насіння.** *V. parvus* у мікрокосмних моделях показав найбільший відсоток для сортів Галицький і Дембо (5-й день), на 7-й день максимальна кількість проростків зареєстрована в мікрокосмах із сортами Дангал, Галицький та Дембо (рис. 1).

Якщо схожість насіння сорту Дембо наростала поступово, то сорту Галицький стрибкоподібно, починаючи з середини експерименту, а сорту Дангал — наприкінці. Перевірка на нормальність розподілу за тестом Шапіро-Вілка показала, що для сортів Галицький, Дембо та Дангал на всіх етапах дослідження  $p > 0,05$ , отже дані мають нормальний розподіл. Для сортів Демарка, Черемош та Света ( $p < 0,05$ ) — дані не мають нормального розподілу. Оскільки не всі дані мають нормальний розподіл, використали непараметричний тест Краскела-Уолліса. Показано статистично значущу різницю в медіанах ( $p < 0,05$ ), що

свідчить про відмінність між сортами. Непараметричний тест Вілкоксона для пари Демарка та Дема показав статистично значущу різницю ( $p < 0,05$ ), проростання насіння *V. parvus* має сортову приуроченість. Для встановлення статистично значущої різниці між середніми значеннями схожості насіння різних сортів використали однофакторний дисперсійний аналіз. Встановлено статистично значущі різниці між середніми значеннями відсотку проростання насіння різних сортів, F-value: 6,0007999 p-value: 0,000959 < 0,05.

Проростки, обраних для дослідження сортів порівнювали між собою за біометричними показниками. Найбільші значення довжини стебла відмічено для сорту Галицький. Оцінка достовірності різниці між варіантами за критерієм Стьюдента підтвердила наявність вірогідної різниці за чотирма з п'яти параметрів. До того ж, проростки сорту Галицький відзначились переважанням параметрів надземної частини, проростки сорту Дембо характеризувалися довшими корінцями. Найбільші значення сирової і сухої біомаси проростків виявлені для сорту Галицький, що зазначені у табл. 1.

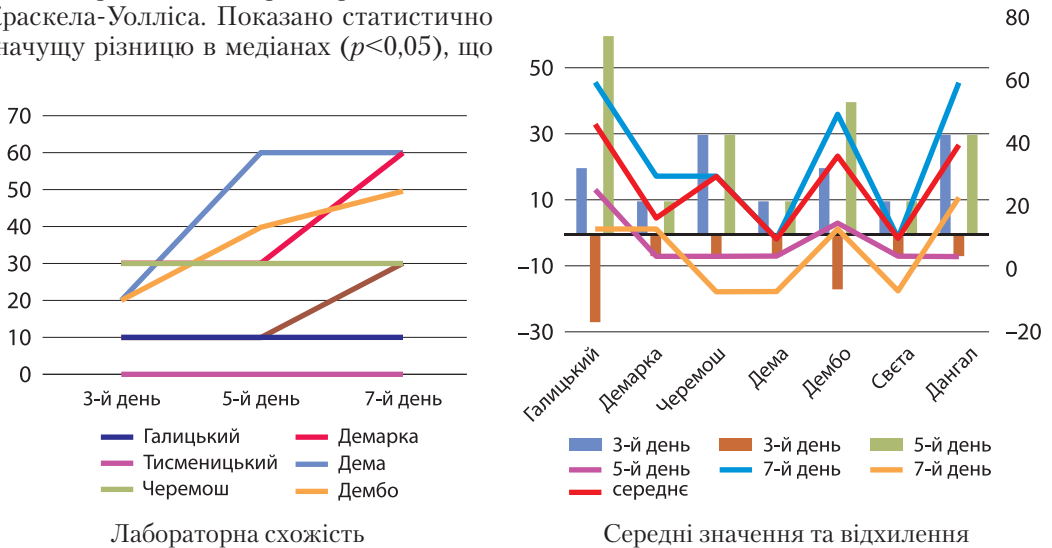


Рис. 1. Проростання насіння *V. parvus* у мікрокосмах (n=30)

Таблиця 1. Отримані рівняння регресії для сорту Галицький

Показник	Залежність	Коефіцієнт детермінації
Довжина стебла	$y = -0,3179x + 9,0571$	$R^2 = 0,2097$
Довжина головного кореня	$y = 0,5607x + 1,9857$	$R^2 = 0,6504$
Площа листової пластинки	$y = -0,1464x + 2,2286$	$R^2 = 0,0636$
Сира біомаса проростків	$y = -0,0464x + 0,5$	$R^2 = 0,3201$
Суша біомаса проростків	$y = -0,0018x + 0,0257$	$R^2 = 0,3125$

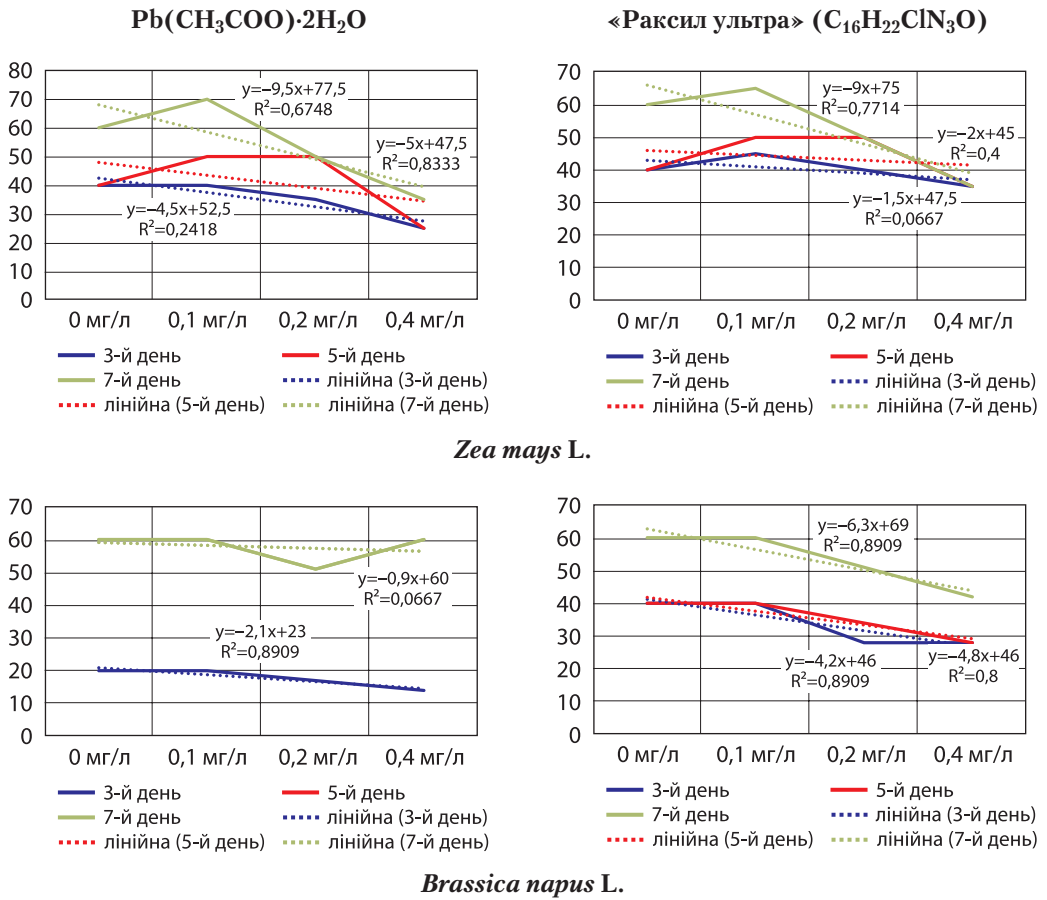
Для парної порівняльної оцінки сирої та сухої біомаси проростків застосували t-тест для залежних вибірок, показано, що різниця є статистично значущою ( $p < 0,05$ ). Для порівняння біометричних параметрів *V. napus* L., використали ANOVA. Виявлено статистично значущі різниці між сортами за довжиною проростків ( $F=9,03$ ,  $p < 0,001$ ), площею листової пластинки ( $F=13,89$ ,  $p < 0,001$ ), масою стебла ( $F=8,63$ ,  $p < 0,001$ ) та кореня ( $F=12,74$ ,  $p < 0,001$ ). За допомогою пост-хост тесту Tukey HSD, встановлено, що різниця між сортами є статистично значущою, за винятком довжини проростків сортів Демарка та Дангал. Отже, сорти *V. napus* L. відрізняються за біометричними показниками проростків та відсотком проростання. Результати аналізу дисперсії показали статистично значущо різницю середніх значень довжини проростків різних сортів. Довжина проростків сортів Черемош та Галицький, статистично більші, ніж у інших сортів ( $p < 0,05$ ), сорт Демарка має найменшу довжину проростків. Результати аналізу дисперсії показали статистично значущу різницю ( $p < 0,05$ ) середніх значень площі листової пластинки та середніх значень маси проростків різних сортів. Сорт Галицький має найбільші довжини проростків та відносно велику масу, Демарка – найменшу довжину проростків, Дангал – найбільшу масу проростків. Ці висновки засновані на даних, отриманих у рамках конкретного експерименту, для підтвердження результату та їх застосування до практичних ситуацій необхідні додаткові дослідження.

Для ефективного захисту ріпаку від ураження шкідниками, з метою поперед-

ження фітопатологій необхідно проводити комплексні заходи (обробка фунгіцидами, інсектицидами, регуляторами росту). Такі заходи також стимулюють процеси росту культури. Так, обов'язково має проводитися своєчасне і ретельне знищення бур'янів на полях, а також на узбіччях полів і доріг, оскільки на засмічених посівах значно зростає чисельність хрестоцвітних блішок, різних видів попелиць, ріпакового пильщика, лучного метелика, ріпакового квіткоїда та інших фітофагів. Бо понад півсотні різних видів шкідників можуть викликати загибель посівів або знизити продуктивність рослин, тим самим значно знизити врожай ріпаку.

**Порівняльний аналіз стійкості *Zea mays* L. та *Brassica napus* L. до забруднення ґрунтів.** Вивчали вплив забруднення ґрунтів свинцем на посівну якість насіння модельних рослин. Показано достовірний гальмівний вплив на схожість насіння *Z. mays* L. солі свинцю в концентрації 0,4 мг/л (рис. 2). На графіку простежується зв'язок між концентрацією  $Pb(CH_3COO) \cdot 2H_2O$  та схожістю насіння. Для обох видів спостерігається зменшення показника зі збільшенням концентрації солі. Для обчислення коефіцієнта кореляції та детермінації використали графік розсіювання і визначили, що існує лінійна залежність між залежною (схожість насіння) та незалежною (концентрація) змінними.  $r \approx -0,78$ . Коефіцієнт кореляції Пірсона набуває від'ємного значення, це означає, що зі збільшенням концентрації ацетату свинцю, схожість насіння зменшується.

Передпосівна обробка фунгіцидом насіння модельних рослин у концентрації



**Рис. 2.** Динаміка схожості насіння модельних видів на градієнті концентрації ацетату свинцю та фунгіциду в мікрокосмних моделях ( $n=30$ )

0,4 мг/л достовірно інгібувала схожість насіння *Z. mays* L. (див. рис. 2). Достовірне зменшення досліджуваного показника для *B. napus* L. відмічено впродовж усього експерименту.

Лінійний регресійний аналіз залежності лабораторної схожості насіння від концентрації  $Pb(CH_3COO) \cdot 2H_2O$  дав змогу виділити рівняння:

$$Y = -0,34X + 48,13,$$

де  $Y$  – середнє значення схожості рослин;  $X$  – концентрація  $Pb(CH_3COO) \cdot 2H_2O$ .

Статистичний аналіз показав, що середні значення схожості насіння відрізнялися залежно від концентрації

$Pb(CH_3COO) \cdot 2H_2O$  та часу експерименту. За допомогою дисперсійного аналізу показано наявність статистично значущої різниці між середніми значеннями для обох видів рослин. Регресійний аналіз показав, що існує значимий зв'язок між концентрацією  $Pb(CH_3COO) \cdot 2H_2O$  та схожістю насіння. Регресійна модель має вигляд:

$$\text{для } Zea mays \text{ L.: } Y = -0,58X + 52,4,$$

$$\text{для } Brassica napus \text{ L.: } Y = -0,54X + 55,5.$$

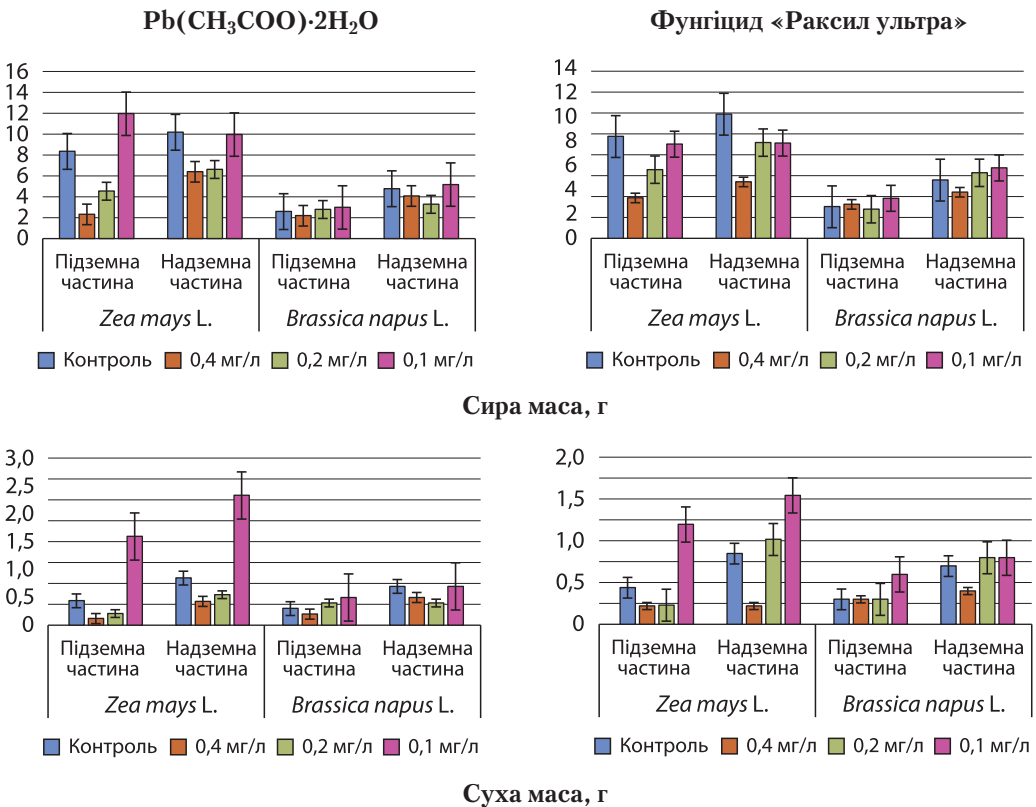
Коефіцієнт детермінації для обох рослин  $>0,8$ , що свідчить про те, що модель є достатньо адекватною. Показано, що концентрація  $Pb(CH_3COO) \cdot 2H_2O$  впливає на проростання насіння обох модельних

рослин, при цьому існує значимий зв'язок між цими двома чинниками. Це може мати практичне значення для землеробства та охорони навколишнього середовища.

**Морфологічні показники проростків *Z. mays* L. та *B. napus* L. за умов забруднення модельної екосистеми.** Вивчали вплив солі свинцю на морфологічні показники проростків модельних видів рослин через місяць від моменту висіву насіння в мікрокосмах. Встановлено, що ацетат свинцю достовірно зменшує сирю масу проростків, та суху масу надземної частини *Z. mays* L. (рис. 3). За впливу концентрації 0,1 мг/л відмічений стимулювальний вплив на формування сирі маси підземної частини та на суху масу проростків.

Вплив солі свинцю на сирю масу проростків *B. napus* L. виявився менш вираже-

ним, ніж у *Z. mays* L. Найбільша з досліджених концентрацій (0,4 мг/л) негативно впливала на суху масу підземної частини проростків, не чинила дію на сирю масу, а також на суху масу надземної частини (див. рис. 3). За концентрації солі свинцю 0,1 мг/л відмічено збільшення сухої біомаси підземної частини проростків, на тлі практично незмінної сирі біомаси та сухої маси надземної частини. Отже, на солі свинцю реагує суха маса підземної частини проростків ріпаку. *F*-статистика для концентрації  $Pb(CH_3COO) \cdot 2H_2O$  дорівнює 22,7, для надземної частини біомаси:  $F=78,4$ , що є статистично значущим при рівні значущості  $\alpha=0,05$  ( $F_{крит.}=3,14$ ). Отже, ми можемо стверджувати, що концентрація  $Pb(CH_3COO) \cdot 2H_2O$  має статистично значущий вплив на формування підземної та



**Рис. 3.** Біомаса проростків модельних видів на градієнті антропогенних чинників в мікрокосмних моделях

Таблиця 2. Кореляційна матриця коефіцієнта кореляції Пірсона

	<i>Z. mays</i> L.			<i>B. napus</i> L.		
	Контроль	0,4 мг/л	0,2 мг/л	Контроль	0,4 мг/л	0,2 мг/л
0,4 мг/л	-0,94*			-0,847		
0,2 мг/л	-0,66	0,99*		-0,235	0,220	
0,1 мг/л	-0,88*	0,94*	0,93*	-0,606	0,474	0,240

надземної частини біомаси *Z. mays* L. Для встановлення кореляційних залежностей використали коефіцієнт кореляції Пірсона. Результати обчислень наведені у *табл. 2*.

За результатами однофакторного дисперсійного аналізу впливу ацетату свинцю на біомасу проростків *B. napus* L., отримано такі значення:

*F*-статистика: [ 4,0011881; 1,64740551; 20,64863349; 0,14261162];

*p*-значення: [0,01857305; 0,22981064; 0,00228635; 0,93396438].

Значення  $F > 1$ , а  $p < 0,05$  для трьох із чотирьох випадків, це свідчить про наявність статистично значущої різниці між середніми значеннями у різних групах. Концентрація  $Pb(CH_3COO) \cdot 2H_2O$  має статистично значущий вплив на біомасу проростків. З *табл. 2* видно, що існує від'ємна кореляція між концентрацією солі свинцю та біомасою проростків, що підтверджує наші попередні висновки. Найбільш вираженою є кореляція між контрольною групою та групою з концентрацією 0,4 мг/л.

Отже, збільшення концентрації знижує біомасу проростків обох модельних культур. Це підтверджує результати регресійного аналізу та ANOVA, де значення коефіцієнтів та значення *F*-статистики свідчать про статистично значимий вплив концентрації на біомасу проростків. Для прогнозування сухої маси рослин залежно від концентрації використали множинну лінійну регресію:

- рівняння регресії:  $Y = -0,12X + 1,22$ ;
- коефіцієнт кореляції:  $r = -0,77$ ;
- коефіцієнт детермінації  $r^2 = 0,59$ .

Отже, у результаті дослідження впливу різних концентрацій  $Pb(CH_3COO) \cdot 2H_2O$  на біомасу проростків отримано такі ре-

зультати: зі збільшенням концентрації солі виявлено зменшення сирої та сухої маси проростків; результати кореляційного аналізу показали значну негативну кореляцію між концентрацією солі та біомасою проростків, що демонструє токсичний вплив на ріст рослин; регресійний аналіз підтверджує наявність зв'язку між концентрацією солі та біомасою проростків, де коефіцієнт детермінації сягає 0,90, що свідчить про високу залежність росту проростків від концентрації солі; результати дослідження підтверджують важливість контролю за забрудненням ґрунту токсичними речовинами. Вплив  $Pb(CH_3COO) \cdot 2H_2O$  на біомасу проростків є негативним. Це підтверджується від'ємним коефіцієнтом регресії, (-0,0656 для *Z. mays* L.),  $R^2=0,927$ , що свідчить про високу точність моделі.

Отримана регресійна модель дає змогу прогнозувати біомасу модельних видів за будь-якої концентрації солі (*X*).

	<i>Z. mays</i> L.	<i>B. napus</i> L.
<i>Сира маса</i>		
Підземна частина	$Y=6,51-2,09 \cdot X$	$Y=-0,1483 \cdot X + 3,1213$
Надземна частина	$Y=7,58-1,36 \cdot X$	$Y=-0,0746 \cdot X + 4,923$
<i>Суха маса</i>		
Надземна частина	$Y=0,1351-0,0656 \cdot X$	$Y=0,7984-1,0224 \cdot X$

Аналіз морфологічних показників модельних видів за впливу фунгіциду «Раксил ультра» показав достовірне зменшення сирої та сухої біомас проростків *Z. mays* L. за концентрацій фунгіциду 0,4 мг/л (*рис. 4*). У концентрації 0,2 мг/л



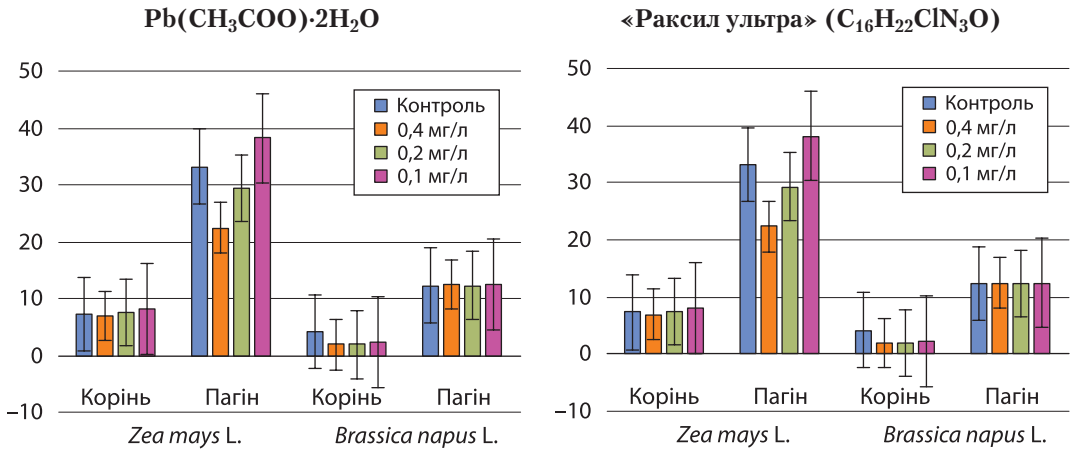


Рис. 4. Біометричні параметри біоенергетичних культур

фунгіцид інгібує сиру масу коренів проростків. Відмічено збільшення сухої маси надземної частини проростків за концентрації 0,1 мг/л. Достовірної зміни у показниках біомаси *B. napus L.* не виявлено.

Аналіз біометричних параметрів проростків модельних видів, показав інгібування росту стебла *Z. mays L.* за концентрації 0,2 мг/л (див. рис. 4) та гальмування росту кореня проростків *B. napus L.* на тлі відсутності достовірного впливу на довжину стебла. Фунгіцид «Раксил ультра» (тебуконазол –  $C_{16}H_{22}ClN_3O$ ) у концентрації 0,4 мг/л достовірно пригнічував ріст стебла проростків *Z. mays L.* в довжину, але не

впливав на ріст коренів (див. рис. 4). У всіх концентраціях фунгіцид гальмував ріст головного кореня проростків *B. napus L.*

Одним із показників, який останнім часом застосовується для оцінки впливу стресових чинників на біологічні системи є концентрація кисню в біогеохімічних ланцюгах. Тому дослідили як впливає навантаження свинцем на вміст розчиненого кисню у підземних водах мікрокосмних систем (рис. 5).

Результати досліджень засвідчують, що солі свинцю достовірно зменшують вміст кисню у воді мікрокосмів під *Z. mays L.*, достовірного впливу в мікрокосмах з

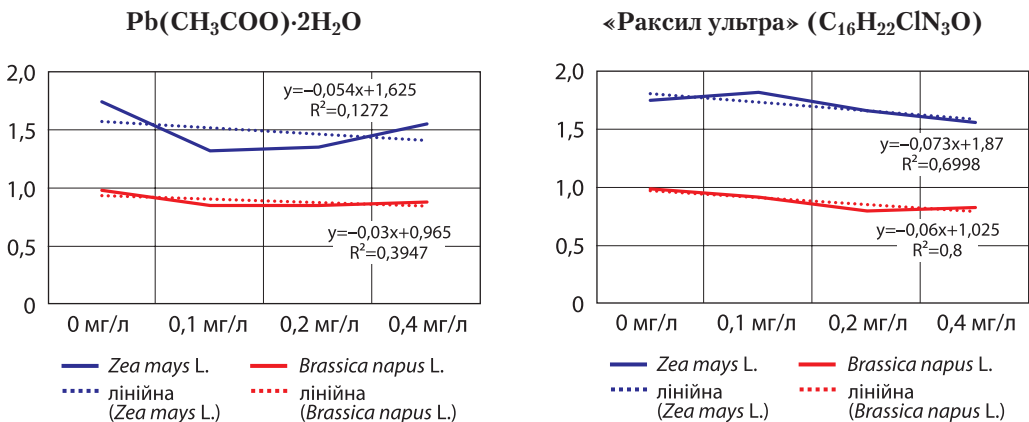


Рис. 5. Вміст розчиненого кисню

*V. parus* L. виявлено не було. Фунгіцид «Раксил ультра» у жодній із досліджених концентрацій не впливає на концентрацію кисню в підземних водах мікрокосмів з *Z. mays* L., проте знижує його концентрацію у мікрокосмах з *V. parus* L.

Найкращі попередники для ріпаку — багаторічні бобові трави, хороші — рання картопля, горох та однорічні трави. Попередник потрібно підбирати такий, щоб він рано звільняв поле для проведення якісного обробітку ґрунту під ріпак. Капуста, редька, гірчиця — попередники, які призводять до збільшення кількості шкідників у посівах культури. Фахівці не рекомендують вирощувати ріпак на одному полі частіше, ніж раз на 4–5 років. Незадовільними попередниками є овес та пшениця яра, буряк цукровий (виникає небезпека поширення нематоди у посівах). Сам ріпак буде добрим попередником для пшениці озимої, літніх посівів багаторічних трав (люцерни) та післяжнивних посівів гречки.

## ВИСНОВКИ

На основі застосування методу мікрокосмних моделей доведено стійкість *V. parus* L. до ацетату свинцю та чутливість до фунгіциду «Раксил ультра». Для захисту ріпаку від шкідників використовуються системні препарати з діючими речовинами диметоат, гамма-цигалотрин,

альфа-циперметрин, тіаметоксам, флудиоксаніл, металаксил, імідаклопрід тощо. Інсектицид використовується для протруювання насіння перед посівом (у комплексі з фунгіцидом), а також для обробки посівів під час досягнення економічного порогу шкідливості. Показано, що насіння ріпаку необхідно обробляти нижчими концентраціями фунгіциду, ніж насіння *Z. mays* L.

Сорт *V. parus* L. Галицький характеризується найбільшою лабораторною схожістю насіння та найкращими морфологічними параметрами проростків. Фунгіцид «Раксил ультра» не впливає на концентрацію розчиненого кисню в підземних водах мікрокосмів з кукурудзою, проте знижує його концентрацію у мікрокосмах з ріпаком.

Фунгіцид «Раксил ультра» у високій концентрації інгібує схожість насіння (на пізніх етапах проростання), ріст стебла, сиру та суху біомасу проростків кукурудзи, за низької концентрації виявлено збільшення сухої маси надземної частини. Лабораторна схожість насіння ріпаку інгібувалася на всіх етапах проростання. Жодна з досліджених концентрацій фунгіциду не впливає на сиру та суху біомасу проростків ріпаку, усі досліджені концентрації фунгіциду інгібують ріст кореня проростків ріпаку, а найбільша — ріст стебла.

## ЛІТЕРАТУРА

- Поляшенко С.О. Фітоенергетичні культури. *Альтернативні джерела енергії, енергозбереження та екологічні аспекти в аграрному секторі*: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Харків, 25–26 трав. 2020 р.). Харків, 2020. С. 79–77. URL: <http://surl.li/nxkuy>.
- Гелетука Г. Енергетичні культури vs продукти харчування в Україні. *Економічна правда*. URL: <http://surl.li/nxlyb>.
- Geletukha G., Kucheruk P. and Matveev Y. Prospects for biomethane production in Ukraine. *UABIO Position paper*. 2022. № 29. 56 p. URL: <http://surl.li/nxlcu>.
- Geletukha G., Zheliezna T. and Tryboi O. Prospects for the growing and use of energy crops in Ukraine. *UABIO Position Paper*. 2014. № 10. 30 p. URL: [www.uabio.org/activity/uabio-analytics](http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics).
- ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Київ: Держстандарт України, 2003. 173 с. URL: <http://surl.li/heycs>.
- Морозова Т.В. Аспекти екологічного моніторингу: моногр. Київ: Будинок природи, 2020. 380 с.
- Баранкова Н. Ріпаківництво в Україні і регіоні та шляхи його розвитку. *Сіверянський літопис*. 2007. № 6. С. 171–174. URL: <http://surl.li/jwpni>.
- Бойчук М., Харчук І., Бутрин Г. та ін. Насінництво сортів озимого ріпаку. *Пропозиція*. 2001. № 4. С. 50.
- Кліпакова Ю.О., Капінос М.В. Фізіолого-біохімічні реакції в насінні та проростках озимої пшениці за дії регулятора росту АКМ і протруйника. *Агробіологія*. 2012. Вип. 9. С. 12–15. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/agr\\_2012\\_9\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/agr_2012_9_4).
- Перелік пестицидів та агрохімікатів, дозволених до використання в Україні в 2023 році (станом на 03.03.2023). URL: <https://agrarii-razom.com.ua/preparations>.

11. Морозова Т.В., Ліхо О.А. Емісія CO<sub>2</sub> з ґрунтів під енергетичними культурами. *Вісник НУБГП*.

*Сер.: Сільськогосподарські науки*. 2022. Вип. 2 (98) С. 89–103.

## REFERENCES

1. Poliashenko, S.O. (2020). Fitoenerhetychni kultury [Phytoenergy crops]. *Al'ternatyvni dzherela enerhiyi, enerhozberezhennya ta ekolohichni aspekty v ahramomu sektori: Materialy Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi [Alternative sources of energy, energy saving and environmental aspects in the agricultural sector: Materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference]*. (pp. 79–77). Kharkiv. URL: <http://surl.li/nxkyq> [in Ukrainian].
2. Heletukha, H. (2022). Enerhetychni kultury vs produkty kharchuvannia v Ukraini [Energy crops vs food products in Ukraine]. *Ekonomichna pravda — Economic truth*. URL: <http://surl.li/nxlby> [in Ukrainian].
3. Geletukha, G., Kucheruk, P. & Matveev, Y. (2022). Prospects for biomethane production in Ukraine. *UABIO Position paper, 29*. URL: <http://surl.li/nxlcu> [in English].
4. Geletukha, G., Zheliezna, T. & Tryboi, O. (2014). Prospects for the growing and use of energy crops in Ukraine. *UABio Position Paper, 10*, 30. URL: [www.uabio.org/activity/uabio-analytics](http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics) [in English].
5. Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti [Seeds of agricultural crops. Methods of determining quality]. (2003). *DSTU 4138–2002*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy. URL: <http://surl.li/heysc> [in Ukrainian].
6. Morozova, T.V. (2020). *Aspekty ekolohichnoho monitorynha: monografiya [Aspects of environmental monitoring: monograph]*. Kyiv: Budynok pryrody [in Ukrainian].
7. Barankova, N. (2007). Ripakivnytstvo v Ukraini i rehioni ta shliakhy yoho rozvytku [Rape farming in Ukraine and the region and ways of its development]. *Siverianskyi litopys — Severyan annals*, 6, 171–174. URL: <http://surl.li/jwpni> [in Ukrainian].
8. Boichuk, M., Kharchuk, I., Butryn, G. et. al. (2001). Nasinnytstvo sortiv ozymoho ripaku [Seed production of winter rape varieties]. *Propozytsiia — Offer*, 4, 50 [in Ukrainian].
9. Klipakova, Yu.O. & Kapinos, M.V. (2012). Fizioloho-biokhimichni reaktsii v nasinni ta prorostkakh ozymoi pshenytsi za dii rehuliatora rostu AKM i protruinyka [Physiological-biochemical reactions in seeds and seedlings of winter wheat under the action of AKM growth regulator and protoxin]. *Ahrobiolohiia — Agrobiology*, 9, 12–15. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/agr\\_2012\\_9\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/agr_2012_9_4) [in Ukrainian].
10. Perelik pestytsydiv ta ahrokhimikativ, dozvolenykh do vykorystannia v Ukraini v 2023 rotsi [List of pesticides and agrochemicals approved for use in Ukraine in 2023]. (2023). URL: <https://agrarii-razom.com.ua/preparations> [in Ukrainian].
11. Morozova, T.V. & Likho, O.A. (2022). Emisiia CO<sub>2</sub> z ґрунтів під енергетичними культурами [Emission of CO<sub>2</sub> from soils under energy crops]. *Visnyk NUVHP. Seriya: Silskohospodarski nauky — Bulletin National University of Water and Environmental Engineering. Series: Agricultural sciences*, 2 (98), 89–103 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 08.09.2023