

ВІЙНА: 2014-2025

І КОНВАЛІЇ ПЛАЧУТЬ
О.Г. ЯГОЛЬНИК

AND THE LILIES OF LILIES CRY
O. Yaholnyk

НОВІ БІОЕНЕРГЕТИЧНІ КУЛЬТУРИ

ПОТЕНЦІАЛ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ
ПЛАНТАЦІЇ ПАВЛОВНІЇ В УКРАЇНІ:
МОДЕЛЮВАННЯ ВІКОВОЇ ДИНАМІКИ

В.Я.БРИЧ,
Ю.І.ГАЙДА,
Я.Д.ФУЧИЛО,
В.М. ГУМЕНТИК,
А.М. ШУВАР,
О.В. БОРИСЯК.

POTENTIAL OF ECOSYSTEM
SERVICES OF PAULOWNIA PLANTATIONS
IN UKRAINE: MODELING AGE DYNAMICS

Brych V., Hayda Yu., Fuchylo Ya.,
Humenytyk V., Shuvar A., Borysiak O.

НАСІННИЦТВО

ПОСІВНІ ЯКОСТІ НАСІННЯ СОРГО
ЗВИЧАЙНОГО (ДВОКОЛЬОРОВОГО)
ЗАЛЕЖНО ВІД ОБРОБКИ
БІОПРЕПАРАТАМИ
ГАНЖЕНКО О.М.,
ЗЛИДЕННИЙ І.І.

Sowing qualities of sorghum
seeds depending on treatment with biological
preparations
O. Hanzhenko, I. Zlydennyi

НАСІННИЦТВО

ЗАСТОСУВАННЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРІВ
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ
БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР
ПРИСЯЖНИК О. І.

МАЛЯРЕНКО О.А.
КОНОНЮК Н. О.
ЧЕРНЯК М.О.
ГОНЧАРУК О. М.
МУСІЧ В.В.

APPLICATION OF
SPECTROPHOTOMETERS FOR
DETERMINING THE CONDITION OF
BIOENERGY CROPS

O. Prysiazniuk, O. Maliarenko, N. Kononiuk,
M. Cherniak, O. Honcharuk, V. Musich

БІОЕНЕРГЕТИЧНІ КУЛЬТУРИ

ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА
ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЯКОСТІ ТОПОЛІ ЧОРНОЇ
ЗАЛЕЖНО ВІД ВІКУ ПЛАНТАЦІЇ

І.І. БОЙКО,
В. І. ВОЙТОВСЬКА,
І.Р. ФУНІНА.

FORMATION OF PRODUCTIVITY AND
TECHNOLOGICAL QUALITY OF BLACK
POPLAR DEPENDING ON THE AGE OF THE
PLANTATION

I.I. BOYKO, V. I. VOITOVSKA, I.R. FUNINA

НАСІННИЦТВО

УРОЖАЙНІСТЬ І ЯКІСТЬ НАСІННЯ
ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД
СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА
ПОПЕРЕДНИКІВ

ПОЛІЩУК В. В.,
ПРИТУЛА Ю. М.

Yield and quality of winter
wheat seeds depending on varietal
characteristics and predecessors
Polishchuk V. V., Prytula Yu. M.

БІОТЕХНОЛОГІЇ

ФОРМУВАННЯ БІОМЕТРИЧНИХ
ПОКАЗНИКІВ РОСЛИН ГІРЧИЦІ ЗАЛЕЖНО
ВІД СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА
ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ

І.І. МИКОЛАЙКО

Formation of biometric parameters
of mustard plants depending on varietal
characteristics and elements of technology
I. I. Mykolaiko

СТЕВІЯ

ВПЛИВ ГУСТОТИ СТОЯННЯ НА
ПРОДУКТИВНІСТЬ STEVIA REBAUDIANA

СТЕФАНЮК В.Й.,
ПАВЛІЧЕНКО М.В.,
ЯЦЕВ Д.О., ФУРСА А.В.

THE IMPACT OF PLANT DENSITY
ON THE PRODUCTIVITY OF STEVIA
REBAUDIANA
STEFANYUK V.Y., PAVLICHENKO M.V.,
YATSEV D.O., FURSA A.V.

БІОЕНЕРГЕТИЧНІ КУЛЬТУРИ

БІОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ РОДУ
СОРГО (SORGHUM) ЗАЛЕЖНО ВІД РН
СЕРЕДОВИЩА

В. І. ВОЙТОВСЬКА

BIOMETRIC INDICATORS OF THE
GENUS SORGHUM (Sorghum) DEPENDING
ON THE pH OF THE ENVIRONMENT
V. I. VOITOVSKA

РЕГУЛЯТОРИ РОСТУ РОСЛИН

ЕФЕКТ СИМБІОЗУ ГРИБІВ І БАКТЕРІЙ
З КОРЕНЕВОЮ СИСТЕМОЮ РОСЛИН
СОНЯШНИКУ

САБЛУК В.Т.,
КОЖУХІВСЬКИЙ Р.М.

Effect of symbiosis between fungi
and bacteria with the root system of sunflower
Sabluk V. T., Kozhukhivskiy R. M.

МІЖНАРОДНИЙ
СТАНДАРТНИЙ
НОМЕР ЖУРНАЛУ
«БІОЕНЕРГЕТИКА/
BIOENERGY»:
ISSN 2707-3653



Всеукраїнський
науково-виробничий журнал
«БІОЕНЕРГЕТИКА/BIOENERGY»

№1 (25), 2025 рік

ЗАСНОВНИК

Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН України

Видається з 2013 року

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

М.В. РОЇК

ЗАСТУПНИК

ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

О.І.ПРИСЯЖНИК

РЕДАКТОР

О.О. ЯГОЛЬНИК

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

РОЇК М. В. -

Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН України,
доктор с.-г. наук, професор, ака-
демік НААН, Україна;

СІНЧЕНКО В. М. -

Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН України,
доктор с.-г. наук, член-кореспон-
дент НААН, Україна;

КРАВЧУК В.І. -

Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН України,
доктор. т. наук, професор, ака-
демік НААН, Україна;

ДОРОНІН В. А. -

Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН України,
доктор с.-г. наук, професор, Україна;

ГУМЕНТИК М. Я. -

Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН України,
доктор с.-г. наук, старший науко-
вий співробітник, Україна;

КВАК В. М. -

Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН України,
кандидат с.-г. наук, старший нау-
ковий співробітник, Україна;

ФУЧИЛО Я. Д. -

Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН України,
доктор с.-г. наук, професор, Україна;

OECHSNER HANS -

PhD, State Institute of Agricultural
Engineering and Bioenergy, University of
Hohenheim, Stuttgart, Germany.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ: 03110, м.КИЇВ-110, вул.КЛІНІЧНА, 25,
ТЕЛ. (044) 275-50-00

E-MAIL: sugarbeet@ukr.net, Beta-vulgaris@ukr.net, © 2020 «БІОЕНЕРГЕТИКА/BIOENERGY»

Дата реєстрації у Державній реєстраційній службі України (наказ № 525). Номер свідоцтва - 18781 ПР серія КВ від 14.11.2011 р.
Формат 60x84 1/8. Ум.-друк.аркушів 5. 42 стор. Тираж 50. Дизайн, верстка: Ягольник К. О.
Рекомендовано до друку Вченою радою ІБКЦБ НААН України, (протокол від 25 листопада 2024 року).
Видавництво та друк: ТОВ «Наш формат», м. Київ, 02105, проспект Миру 7/45. Пацюк А.О.

Журнал «Біоенергетика/Bioenergy» включено до Переліку фахових наукових видань України (категорія Б), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Наказ МОН України № 420 від 15.04.2021 р., сільськогосподарські спеціальності – 201).

І КОНВАЛІЇ ПЛАЧУТЬ

ЯГОЛЬНИК О.Г. —

відповідальний секретар редакції
журналу «Біоенергетика/Bioenergy»

...Трагедія трапилася 4 квітня 2025 року в рідному для нашої сім'ї Кривому Розі. Стояв тихий і важкий весняний вечір. Люди поверталися додому з роботи. На майданчику весело бавилися діти. Ніщо не віщувало біди навіть у шойно озвученому 8-рядковому вірші автора цих рядків «Плач конвалії», який був надрукований на першій стор. популярної газети «Літературна Україна» у далекому 1964 році.

І раптом о 18 годині 49 хвилин за місцевим часом — шокуєчий удар по житловому густонаселеному мікрорайону високоточною балістичною ракетою з касетним зарядом «Іскандер-М», що розрахована на ураження масштабної площі, хоча на місці удару не було жодного військового об'єкта чи місця зібрання військових.

Розірвалася ракета прямо над головами дорослих людей та їхніх дітей, які бавилися на вулиці.

Верховний комісар ООН з прав людини Фолькер Тюрк прямо заявив: він — шокований

атакою найбільш смертоносною для дітей ракетою з початку вторгнення, яка може бути кваліфікована як воєнний злочин.

Люди не мали навіть можливості убезпечити себе від удару, адже ракета, яка прилетіла з району Таганрога (РФ), в одну мить перетворила дитячий майданчик у територію масового вбивства. За лічені хвилини в славетному місті гірників відкрилася ціла низка убивчих фактів: за лічені хвилини було пошкоджено майже 20 багатоквартирних будинків, шість навчальних закладів, більш як 30 транспортних засобів. А ще — пошкоджено або знищено за короткий період церковні приміщення, молитовні будинки, вівтарі, храми та інші святі об'єкти країни.

За даними Держслужби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС), внаслідок

атаки також зруйновано п'ять будівель. Значних збитків завдано громадській інфраструктурі, автомобілям, різним установам. Пошкоджено декілька десятків багатоквартирних і приватних будинків, шість навчальних закладів, понад 30 транспортних засобів, 8 закладів освіти і культури, об'єкти бізнесу, адміністративних будівель тощо.

Моніторингова місія ООН, яка наступного дня побувала на місці російської атаки й задокументувала пошкодження та імена загиблих дітей, прямо заявила, що шокована російським ударом по Кривому Розі. «Цей жах неможливо уявити, — сказав Верховний комісар ООН з прав людини. — Він свідчить про повну зневагу до життя цивільних осіб».

Це було, як прямо заявила Моніторингова місія ООН з прав людини, най-

Ще через день у Генштабі ЗСУ повідомили: кількість постраждалих збільшилась до 75 осіб.

На знак солідарності із загиблими й постраждалими криворіжцями та їхніми родинами по всій Україні 6 квітня 2025 року оголошено День жалоби.

Всі обласні центри, міста і села, великі та малі громади країни пліч-о-пліч із Кривим Розом приспустили прапори за жертвами російської атаки.

У цей день навіть Посольство Італії приспустило свій прапор в день жалоби за жертвами удару по Кривому Розі.

7 квітня на дитячому майданчику, поблизу якого 4 квітня влучила ракета РФ, священники відслужили панахиду за загиблими внаслідок атаки.

Влада та президент назвали імена дітей, які були вбиті під час атаки російською балістичною ракетою по Кривому Розі.

Це — Тимофій Цвітко (3 роки), Радислав Яцко (7 років), Аріна Самодіна (7 років), Герман Триполец (9 років), Аліна Куценко (15 років), Данило Нікітський (15 років), Микита Перехрест (15 років), Костянтин Новік (16 років), Микита Солоніченко (17 років).

Глибоко запам'яталися слова Нового Папи Римського Лева XIV, який сказав: світ

цей є без зброї й він уміє обеззброювати та протистояти злу. Тобто, Блаженніший Святіший Отець сказав: треба віддатися в руки Божі — і зло ніколи нас не переможе задля примноження миру і добра в усьому світі.

1. https://uk.wikipedia.org/wiki/Ракетний_удар_по_Кривому_Розі_4_квітня_2025_року

2. <https://aspi.com.ua/news/politika/zeleniyskiy-prokomentuvav-raketni-udari-rf-po-ukraini-0#gsc.tab=02>

3. Олена Мазун. Найбільша за кількістю загиблих дітей: в ООН відреагували на атаку по Кривому Розі. Режим доступу 06 квітня 2025: https://focus.ua/uk/world/700906-ataka-na-kriviy-rig-v-onn-vidreaguvali-na-obstril?utm_source=ukmet-news



більше число загиблих дітей від одного удару з 2022 року.

Верховний комісар ООН з прав людини Фолькер Тюрк підтвердив: від початку повномасштабної війни така атака — наймасовіше вбивство дітей.

Закликав до припинення вогню Президент США Дональд Трамп.

Вшанував пам'ять загиблих у Кривому Розі керівник держави Володимир Зеленський (Фото: скрін відео російського ракетного удару у Кривому Розі).

Закликав до миру Китай, поки Росія вбивала дітей і виправдовувала удари по дитячому майданчику.

Різно засудив терористів Росії Духовний радник президента США Марк Бернс.

6 квітня по всій Україні було оголошено день жалоби.

ПОТЕНЦІАЛ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ПЛАНТАЦІЇ ПАВЛОВНІЇ В УКРАЇНІ: МОДЕЛЮВАННЯ ВІКОВОЇ ДИНАМІКИ

В.Я.БРИЧ¹,

д.е.н., професор, e-mail: v.brych@wunu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4277-5213>

Ю.І.ГАЙДА^{1,2},

д.с.-г.н., професор e-mail: haydshn@ua.fm ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6019-9654>

Я.Д.ФУЧИЛО³,

д.с.-г.н., професор e-mail: fuchylo_yar@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0002-2669-5176>

В.М.ГУМЕНТИК³,

фахівець, e-mail: vgm2000@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7938-3988>

А.М.ШУВАР¹,

д.с.-г.н., професор e-mail: antin@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6016-0896>

О.В.БОРИСЯК¹,

д.е.н., доцент e-mail: o.borysiak@wunu.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4818-8068>

¹ — Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль, Україна

² — Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів, Україна

³ — Інститут біоенергетичних культур та цукрових буряків, м. Київ, Україна

Вступ. Серед глобальних цілей сталого розвитку, що були ухвалені ООН у 2015 році й які окреслили стратегічні вектори необхідного прогресу для країн та спільнот у найближчому майбутньому, особливе місце відведено проблемам відновлюваних джерел енергії (7-ма ціль) та боротьбі зі змінами клімату (13-ціль) [31]. Вирішення вищезазначених проблем значною мірою залежить від обсягів і якості екосистемних послуг, які можуть генерувати плантації швидкоростучих видів деревних рослин [33].

Павловнія (*Paulownia* spp.) або адамове дерево — деревна рослина, яка характеризується надзвичайно високою продуктивністю, а тому відноситься в багатьох країнах світу до перспективних біоенергетичних культур [7]. Її деревина використовується для виготовлення паливної тріски та інших видів твердих видів біопалива [6]. Окрім того, насадження павловнії відзнача-

ються високими меліоративними якостями, маючи здатність закріплювати ерозійно небезпечні ґрунти, а також відновлювати ділянки, що постраждали від пожеж, зсувів [6, 22]. Біомаса листя павловнії, яка багата на протеїн, використовують також як корм у тваринництві. Олію, яку отримують із насіння павловнії, в Японії застосовують для отримання знаменитих лаків [16]. За фізико-механічними властивостями, зокрема величиною щільності, деревина павловнії подібна до деревини ялини європейської та ялиці білої, але завдяки вмісту дубильних речовин є стійкішою до гниття [10]. Павловнію вважають також потужним джерелом важливих регуляторних екологічних послуг, оскільки вона не лише сприяє очищенню повітря, але й характеризується високою вуглецепоглиняльною здатністю і значною киснепродуктивністю [2]. З огляду на це, актуальним науковим завданням є визначення потенціалу низки екологічних послуг насаджень павловнії в Україні та моделювання його вікової динаміки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Рід Павловнія налічує до 20 видів, серед яких 6 видів мають промислове значення — *Paulownia elongata* S. Y. Hu, *P. fargesii* Franch., *P. fortunei* (Seem.) Hemsl., *P. glabrata* T. W. Hu, *P. taiwaniana* T. W. Hu & H. J. Chang, *P. tomentosa* (Thunb.) Steud. [6]. Найпоширенішими видами, які культивують в Україні, є: *Paulownia tomentosa*, *P. fortunei*, *P. elongata* й гібриди *P. tomentosa* × *P. fortunei* та *P. elongata* × *P. fortunei* [27].

В Україні в державний реєстр сортів рослин внесено наступні сорти павловнії повстистої (*Paulownia tomentosa*), придатні для поширення в Україні: (1) Hiant 27 (рік реєстрації 2021), (2) Enerdzhy (2022), (3) ZE PRO (2020), (4) In Vitro 112 (2017), (5) Kvinerdzhy (2020), (6) Cotevisa 1 (2019), (7) Cotevisa 2 (2019), (8) Lilov (2020), (9) Syla pryrody (2021), (10) TURBO PRO (2020), (11) Feniks (2020) [11]. Найбільш перспективним для отримання біомаси вважається гібрид Clone in Vitro 112, виведений в Іспанії [18]. В останні роки увага українських та зарубіжних дослідників була направлена на удосконален-

ня технології вирощування плантацій павловнії [1, 5, 21], методів отримання якісного садивного матеріалу [23, 26], вивчення фізико-механічних властивостей деревини [15, 17].

Павловнія характеризується досить значною вуглецепоглиняльною здатністю [12, 20]. В науковій літературі зустрічаються різні дані щодо кількісної оцінки вуглецепоглиняльної здатності павловнії. Така різниця, очевидно, пояснюється різними типами плантацій, видами павловнії, які представлені на них, кліматичними умовами країн вирощування, технологіями культивування. В одній з публікацій стверджується, що щорічні обсяги поглинання вуглекислого газу можуть становити навіть 140 т-га-1 [23]. Ці дані очевидно стосуються плантацій павловнії віком понад 5 років. В іншому дослідженні встановлено, що два клони (*Cotevisa 2* та *Suntzu 11*) гібриду *Paulownia elongata* × *fortunei* в Іспанії в провінції Севілья у дворічному віці формують біомасу 7,2 та 14 т сухої речовини і депонують вуглець в обсязі 3,2 і 7,4 т С на 1 га. Однак при цьому зазначають, що в гірших умовах біопродуктивність цих клонів є значно нижчою — в провінції Кордоба, відповідно 1,7 і 2,3 т сухої речовини на 1 га [35].

У моделі визначення вуглецепоглиняльної та киснетвірної здатності павловнії однією з ключових екзогенних змінних є обсяг продукрованої фітомаси на її плантаціях різного типу, яка також значно варіює в різних умовах вирощування. Так, в Італії, в північно-західній частині о. Сіцилія, плантації павловнії клоны in vitro 112® (*Paulownia elongata* × *P. fortunei*) з цільовим призначенням — деревина і паливна тріска — створюють з густотою садіння 500–700 шт-га-1. Їх життєвий цикл становить 20 років, а періодичність заготівлі деревини — 4–5 років. Під час кожного рубання можна отримати 65–90 т-га-1 продукції, з яких 50% це деревина, а 50% — інша біомаса.

Плантації, призначені виключно для заготівлі біомаси, створюють значно густішими з кількістю садивних місць 1500–3000 шт-га-1 на менш короткий період — 14 років. На таких плантаціях кожних 2–3 роки отримують 40–70 т-га-1 біомаси [29].

Результати досліджень у віддаленій сільській місцевості в Непалі показали, що середня загальна біомаса вуглецю п'ятирічного дерева павловнії становила $4,52 \pm 0,53$ кг С · рік⁻¹ на дерево, тобто $9,04 \pm 1,06$ тонн С га⁻¹ рік⁻¹ за густини посадки 2000 рослин на гектар. Подібним чином було встановлено, що середня загальна біомаса вуглецю нещодавно висадженого *P. tomentosa* протягом 4 місяців становила $6,07 \pm 0,38$ кг. Розрахункова біомаса вуглецю за один рік новопосаджених рослин становила $18,21 \pm 1,14$ кг рік⁻¹, тобто 0,36 тонн С га⁻¹ рік⁻¹ [20].

У Північній Ірландії впродовж трьох років випробовувалися клони павловнії із Іспанії та Марокко. Встановлено, що біомаса одного свіжозрубаного дерева павловнії у віці 3 роки коливалася від 0,9 до 26,4 кг, при цьому відсоток сухої речовини коливався також дуже суттєво — від 32,6 до 48,1%. Варіабельність вмісту вуглецю в 1 кг сухої речовини виявилася значно меншою — від 482,9 г до 493,2 г. Урожай біомаси *P. fortunei*, *P. elongata* × *fortunei* та *P. elongata* в цьому експерименті становив, відповідно, 6,6; 3,4 і 1,9 т сухої речовини га⁻¹ рік⁻¹ [24].

У південній частині Іспанії (провінція Кастилія-Ла-Манча) клон павловнії in vitro 112® (*Paulownia elongata* × *P. fortunei*) впродовж другого вегетаційного періоду сформував стовбурову біомасу від 2,14 до 4,50 т га⁻¹. Вищий показник забезпечило зрошення плантації в поєднанні з підживленням ґрунту [3].

В Азії 16-річний експеримент, проведений з *P. tomentosa* в Азії показав, що ця рослина може депонувати 38,8 т С га⁻¹, тоді як 21-річна плантація — понад 105 т С га⁻¹ [14].

У південно-східній частині США після 30 місяців (за три вегетаційних періоди) *Paulownia elongata* показала продуктивність 92 кг на одне дерево [32].

В одній із статей зазначається, що в сприятливих умовах, на 5–7 річних плантаціях з 2000 деревами на га можна отримувати до 150–300 т деревини щорічно [13].

Економічні розрахунки економічної ефективності вирощування павловнії на землях колишніх виноградарників в Італії показали, що щорічний прибуток із плантації павловнії, створеної з метою вирощування деревини та деревної тріски становить 357,91 євро-га⁻¹, в той час як від альтернативного використання цієї ж ділянки землі під виноградники можна отримати лише 237,41 євро-га⁻¹. Плантації павловнії, які створені виключно для отримання

Таблиця 1
Динаміка обсягів депонування вуглецю та секвестрування CO₂ на плантаціях павловнії

Рік вирощування	Обсяг депонування вуглецю в тга ⁻¹					Обсяг секвестрування CO ₂ , тга ⁻¹
	у стовбуровій деревині	у гілках і листі	у надземній біомасі	у підземній біомасі	у загальній біомасі	
Clone in vitro-112 [Paulownia elongata S.Y.Hu × P. fortunei (Seem.) Hemsl.]						
1	0,64	0,27	0,91	0,23	1,14	4,17
2	1,74	0,72	2,46	0,72	3,18	11,63
3	4,39	1,96	6,35	1,86	8,21	30,11
4	10,40	7,51	17,91	5,37	23,28	85,36
5	16,47	13,80	30,27	8,83	39,10	143,36
Павловнія повстиста [P. tomentosa (Thunb.) Steud.]						
1	0,40	0,20	0,60	0,18	0,78	2,86
2	1,30	0,63	1,93	0,57	2,50	9,13
3	5,34	2,85	8,19	2,42	10,61	38,90
4	7,39	6,08	13,47	4,02	17,49	64,11
5	10,23	12,51	22,74	6,88	29,62	108,57

Таблиця 2
Динаміка киснепродуктивності павловнії на її плантаціях

Рік вирощування	Загальний обсяг біомаси, т га ⁻¹	Загальний обсяг продукування кисню, т га ⁻¹	Середньорічна киснепродуктивність, т га ⁻¹
Clone in vitro-112 [<i>Paulownia elongata</i> S.Y.Hu × <i>P. fortunei</i> (Seem.) Hemsl.]			
1	2,28	2,73	2,73
2	6,34	7,61	3,81
3	16,42	19,71	6,57
4	46,56	55,87	13,97
5	78,20	93,84	18,77
Павловнія повстиста [<i>P. tomentosa</i> (Thunb.) Steud.]			
1	1,56	1,87	1,87
2	4,98	5,98	2,99
3	21,22	25,46	8,49
4	34,97	41,97	10,49
5	59,22	71,07	14,21

біомаси, можуть дати значно менший прибуток — всього 4,22 євро-га⁻¹ [29].

Матеріали та методи досліджень. Об'єктом наших досліджень була плантація павловнії, створена М. Я. Гументиком в сприятливих умовах середмістя м. Києва, де рослини павловнії захищені від надмірних коливань температури (особливо в зимовий період), вологості повітря та ґрунту. На цій плантації вирощуються рослини "Clone in vitro –112" [*Paulownia elongata* S, Y, Hu × *P. fortunei* (Seem.) Hemsl.] та павловнії повстистої [*P. tomentosa* (Thunb.) Steud.]. Схема розміщення рослин павловнії 4 × 4 м, що відповідає густоті садіння 625

шт-га⁻¹. Дослідження біопродуктивності культиварів павловнії на цій плантації проведено Гументиком М. Я. та Бродусь О. Ю. [4].

Для визначення вуглецепоглиальної здатності та киснепродуктивності павловнії використано апробовані методи [8, 9], які базуються на даних щодо обсягів накопичення окремих фракцій біомаси деревних рослин.

Надземну біомасу (Above Ground Biomass) визначали за формулою:

$AGB (т/га) = SB + BLB$, де SB (Stem Biomass) — фітомаса стовбура, BLB (Branch and Leave Biomass) — фітомаса гілок і листя.

Для оцінки підземної біомаси (Below Ground Biomass) надземна біомаса множилася на коефіцієнт 0,25 [9]:

$$BGB \text{ (т/га)} = AGB \times 0,25$$

Загальна біомаса (Total Biomass)

обчислювалася шляхом додавання біомаси всіх компонентів (підземної та надземної):

$$TB \text{ (т/га)} = AGB + BGB$$

Депонований вуглець (Carbon

Stock) оцінювався шляхом множення величини біомаси на концентрацію вуглецю (CF), яка приймається рівною 0,50 [8]:

$$CS \text{ (т/га)} = TB \text{ (т/га)} \times CF$$

Оцінка секвестрації діоксиду вуглецю (CO₂) здійснювалася шляхом множення запасу вуглецю на коефіцієнт 44/12 [9]:

$$CO_2 \text{ sequestration (т/га)} = \text{Carbon stock (т/га)} \times (44/12)$$

Для оцінки виходу енергії із біомаси використовували значення питомої теплоти згорання біомаси павловнії повстистої (19,71 МДж кг⁻¹) [34] та клонів павловнії (19,50 МДж кг⁻¹) [30].

Результати досліджень та їх обговорення. Як бачимо із табл. 1 і 2, павловнія Clone in vitro-112 [Paulownia elongata S. Y. Hu × P. fortunei (Seem.) Hemsl.] та павловнія повстиста [P. tomentosa (Thunb.) Steud.] характеризуються досить високою продуктивністю біомаси вже в перші роки культивування.

При цьому потенціал біопродуктивності клону гібриду є дещо вищим упродовж майже всього 5-річного циклу вирощування. Так, у однорічному віці павловнія Clone in vitro-112 продукувала 2,28 т-га⁻¹ сухої загальної біомаси, а павловнія повстиста — лише 1,56 т-га⁻¹, тобто на 31,6% менше, а на п'ятирічній плантації ця різниця становила 18,98 т-га⁻¹ або 24,3%. Лише на трирічній плантації павловнія повстиста мала більший запас біомаси, переважно за рахунок нарощування за поточний період більшої фітомаси гілок та листя. Імовірно, це відбулося завдяки специфічній позитивній нормі реакції цього виду павловнії на особливі погодні умови третього року вирощування, який характеризувався високим значенням ГТК (2,3) впродовж травня місяця [4]. Якщо ж аналізувати фракційну структуру накопиченої біомаси павловнії, то для обох видів характерною є подібна закономірність — у перші три роки частка стовбурової біомаси перевищує 50% загальної біомаси, починаючи з четвертого року вирощування більша частка уже належить іншим фракціям (гілкам, листю і кореням).

З табл. 1 видно, що обсяги депоновання вуглецю окремими фракціями фітомаси павловнії при збільшенні віку плантації зростають прискорено, що спонукало нас у процесі специфікації моделі зробити припущення, що найадекватніше вікову динаміку вуглецепоглиальної здатності павловнії описуватиме поліном другого ступеня або експоненціальною регресією.

Побудовані графіки регресійних моделей поліномів другого ступеня

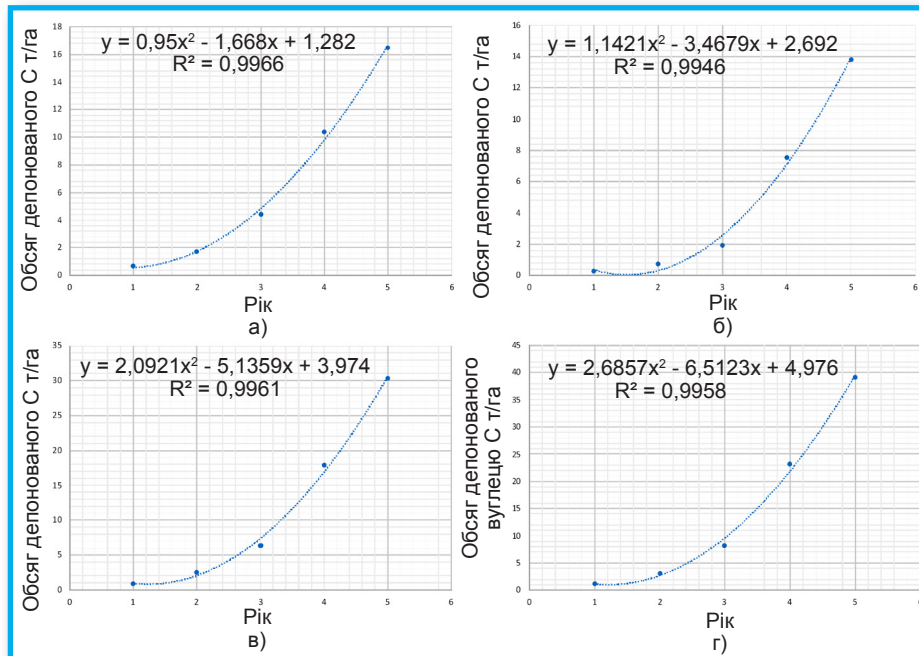


Рис. 1. Моделі динаміки вуглецепоглиальної здатності окремих фракцій фітомаси Clone in vitro-112

Залежна змінна — обсяг депонованого вуглецю в:

а) у стовбуровій деревині, б) в гілках і листі, в) в надземній фітомасі, г) в загальній фітомасі

Таблиця 3

Критерії якості побудованих регресійних моделей (поліномів другого ступеня) динаміки вуглецепоглиальної здатності павловнії

№ мо- делі	Модель	R2	F-критерій Фішера		Значущість параме- трів моделі, p <		
			зна- чення	p <	a0	a1	a2
Clone in vitro-112 [Paulownia elongata S.Y.Hu × P. fortunei (Seem.) Hemsl.]							
1	Y1 = 1,274 – 1,664X + 0,949X2	0,997	298,4	0,0033	0,3874	0,2011	0,0224
2	Y2 = 2,694 – 3,470X + 1,142X2	0,995	184,5	0,0054	0,1713	0,0714	0,0191
3	Y3 = 3,968 – 5,133X + 2,092X2	0,996	259,5	0,0038	0,2304	0,1016	0,0187
4	Y4 = 4,972 – 6,512X + 2,686X2	0,996	237,5	0,0042	0,2550	0,1131	0,0207
Павловнія повстиста [P. tomentosa (Thunb.) Steud.]							
5	Y1 = - 1,856 + 1,770X + 0,134X2	0,979	46,1	0,0212	0,4156	0,3305	0,6144
6	Y2 = 1,946 – 2,574X + 0,930X2	0,997	320,7	0,0031	0,1514	0,0588	0,0129
7	Y3 = 0,090 – 0,805X + 1,064X2	0,995	183,6	0,0054	0,9687	0,6540	0,0519
8	Y4 = 0,191 – 1,128X + 1,140X2	0,995	185,7	0,0051	0,9485	0,6293	0,0505

Примітка: Залежна змінна — обсяг депонованого вуглецю в: Y1 - у стовбуровій деревині, Y2 - в гілках і листі, Y3 - в надземній фітомасі, Y4 - в загальній фітомасі. Незалежна змінна X — вік плантації.

(рис. 1) як візуально, так і формально (на основі високих значень коефіцієнтів детермінації, що близькі до значення 0,999), здавалося б адекватно описують динаміку депонування вуглецю в окремих фракціях фітомаси Clone in vitro-112 на плантаціях різного віку. Однак результати більш глибокого аналізу показали, що цей тип моделі (поліном другого ступеня) за додатковими критеріями якості не є найкращим для конкретної ситуації (див. табл. 3). Про це свідчать статистично незначущі параметри багатьох моделей. Внесені корективи в специфікацію моделей дозволили отримати серію більш адекватних експоненціальних регресійних рівнянь.

Такі моделі в аналітичній формі та критерії оцінки їх якості наведені в табл. 4. Як бачимо, майже всі моделі за використаними критеріями адекватно описують емпіричну динаміку проаналізованих показників вуглецепоглиняльної здатності та киснепродуктивності павловнії. Моделі показують, що впродовж перших п'яти років вирощування плантацій як Clone in vitro-112, так і павловнії повстистої спостерігається не лінійне, а експоненціальне зростання вищезгаданих показників, тобто їх збільшення із прискоренням. Швидкість зростання показників за один рік відображається в цих моделях коефіцієнтом b . Таким чином, щорічний темп приросту обсягів депонування вуглецю в деревині павловнії становить 82,2 і 82,8%, у гілках і листі дещо вищий — 102,1 і 105,4%, а у загальній фітомасі — 90,6 і 92,2% (перші значення стосуються Clone in vitro-112, другі — павловнії повстистої).

Загальна киснепродуктивність павловнії на плантації також в перші 5 років збільшується із прискоренням (табл. 5). Швидкість таких змін є досить високою — 90,7% Clone in vitro-112 і 92,2% у павловнії повстистої. Значно меншими темпами змінюється середньорічна киснепродуктивність. Так, у Clone in vitro-112 вона щороку збільшується на 51,6%, а у павловнії повстистої — 53,1%.

Інтерес до видів і гібридів павловнії як джерела біопалива, тобто важливого виду ресурсних екосистемних послуг (provisioning services), виник зовсім недавно — на початку поточного століття. Є думка, що, маючи при високій швидкості росту низьку щільність деревини, біомаса павловнії є недостатньо ефективним паливом. Так, порівняння пелет, вироблених із біомаси молодих плантацій *P. elongata* × *P. fortunei*, показало їх нижчу якість порівняно з пелетами *Pinus radiata* та *Eucalyptus nitens*

Критерії якості побудованих експоненціальних регресійних моделей ($Y = a \cdot e^{bx}$) вуглецепоглиняльної здатності павловнії

Таблиця 4

№ мо- делі	Модель	R2	F-критерій Фішера		Значущість параметрів моделі, p <		Критерій Дарбіна -Уотсона
			зна- чення	p <	a	b	
Clone in vitro-112 [Paulownia elongata S.Y.Hu × P. fortunei (Seem.) Hemsl.]							
9	Y1 = 0,320□e0,828x	0,985	194,2	0,0008	0,0103	0,0008	1,66
10	Y2 = 0,097□e1,021x	0,991	324,0	0,0004	0,0011	0,0004	2,86
11	Y3 = 0,403□e0,899x	0,991	299,1	0,0004	0,0133	0,0004	2,10
12	Y4 = 0,508□e0,906x	0,989	275,6	0,0005	0,0334	0,0005	2,07
Павловнія повстиста [P. tomentosa (Thunb.) Steud.]							
13	Y1 = 0,247□e0,822x	0,913	34,1	0,0113	0,0641	0,0113	1,50
14	Y2 = 0,082□e1,054x	0,978	134,8	0,0014	0,0037	0,0014	1,68
15	Y3 = 0,311□e0,921x	0,951	58,8	0,0046	0,0608	0,0046	1,56
16	Y4 = 0,403□e0,922x	0,952	59,6	0,0045	0,1053	0,0045	1,56

Примітка: Залежна змінна — обсяг депонованого вуглецю в: $Y1$ - у стовбуровій деревині, $Y2$ - в гілках і листі, $Y3$ - в надземній фітомасі, $Y4$ - в загальній фітомасі. Незалежна змінна X — вік плантації.

Критерії якості побудованих експоненціальних регресійних моделей ($Y = a \cdot e^{bx}$) динаміки киснепродуктивності павловнії

Таблиця 5

№ мо- делі	Модель	R2	F-критерій Фішера		Значущість параметрів моделі, p <		Критерій Дарбіна -Уотсона
			зна- чення	p <	a	b	
Clone in vitro-112 [Paulownia elongata S.Y.Hu × P. fortunei (Seem.) Hemsl.]							
17	Y1 = 1,215□e0,907x	0,989	275,0	0,0005	0,3601	0,0005	2,06
18	Y2 = 1,510□e0,516x	0,981	151,6	0,0011	0,0591	0,0011	2,65
Павловнія повстиста [P. tomentosa (Thunb.) Steud.]							
19	Y1 = 0,964□e0,922x	0,952	59,5	0,0045	0,9320	0,0045	1,56
20	Y2 = 1,197□e0,531x	0,935	42,8	0,0073	0,5524	0,0073	2,13

Примітка: Залежна змінна — $Y1$ - загальна киснепродуктивність, $Y2$ — середньорічна киснепродуктивність.

[25]. Проте в іншому дослідженні, в якому оцінювалась якість брикетів і пелет із тирси, було отримано задовільний енергетичний ефект для *P. tomentosa* і *P. elongata* [28]. Калорійність біомаси павловнії близька до фітомаси енергетичних видів, які вже вирощуються в Європі. Протестовані гібриди (9501 і Shan Tong) дали лише трохи нижчу високу те-

плотворну здатність 19,5 МДж·кг⁻¹ (гібрид 9501) і 19,6 МДж·кг⁻¹ (Shan Tong), ніж верба (19,9 МДж·кг⁻¹) і тополя (19,8 МДж·кг⁻¹) [30]. Подібні значення були оприлюднені Zachar et al. [34] для *P. tomentosa* — 19,71 МДж·кг⁻¹. Згідно з результатами досліджень Lopez F., теплотворна здатність біомаси павловнії 20,3 МДж·кг⁻¹. Це дещо вище, ніж

Таблиця 6

Компаративістський аналіз енергетичної ємності біоенергетичних культур

Культура	Продуктивність сухої біомаси, т·га ⁻¹	Теплота згоряння, МДж·м ⁻³	Виробництво тепла, Гкал·га ⁻¹
Павловнія	20	15,0	62,5
Верба	15	13,0	42,8
Тополя	12	14,0	34,2
Міскантус	25	16,0	80,0
Просо прутіоподібне	18	15,5	57,0

Джерело: складено на основі [7].

Таблиця 7

Динаміка біоенергетичної продуктивності павловнії на її плантаціях

Рік вирощування	Надземна біомаса, т·га ⁻¹	Вихід енергії, ГДж·га ⁻¹	Вихід умовного палива, т·га ⁻¹
Clone in vitro-112 [Paulownia elongata S.Y.Hu × P. fortunei (Seem.) Hemsl.]			
1	2,28	44,5	1,5
2	6,34	123,6	4,2
3	16,42	320,2	10,9
4	46,56	907,9	31,0
5	78,20	1524,9	52,0
Павловнія повстиста [P. tomentosa (Thunb.) Steud.]			
1	1,56	30,7	1,0
2	4,98	98,2	3,4
3	21,22	418,2	14,3
4	34,97	689,3	23,5
5	59,22	1167,2	39,8

Таблиця 8

Критерії якості побудованих експоненціальних регресійних моделей ($Y = a \cdot e^{bx}$) динаміки біоенергетичної продуктивності павловнії (залежна змінна – вихід енергії, ГДж·га⁻¹, незалежна – рік вирощування плантації)

№ мо- делі	Модель	R2	F-критерій Фішера		Значущість параметрів моделі, p <		Критерій Дарбіна -Уотсона
			зна- чення	p <	a	b	
Clone in vitro-112 [Paulownia elongata S.Y.Hu × P. fortunei (Seem.) Hemsl.]							
21	Y = 19,79□e0,909x	0,989	276,2	0,0005	0,0005	0,0005	2,07
Павловнія повстиста [P. tomentosa (Thunb.) Steud.]							
22	Y = 15,83□e0,922x	0,952	59,6	0,0045	0,0061	0,0045	1,56

для листяної деревини, трохи вище, ніж для Pinus pinaster і м'якої деревини, і набагато вище, ніж для залишків харчових рослин і сільськогосподарських культур. Все це підтверджує доцільність використання роду Paulownia як енергетичної культури [19].

Економічне та біоенергетичне значення павловнії зростає в міру того, як з'являються нові напрями її використан-

ня та пов'язані з нею продукти. Тому фітомаса павловнії об'єднується розглядається як лігноцелюлозна сировина для виробництва біоетанолу на південному сході США [32].

Біоенергетична цінність біомаси павловнії підтверджується також даними табл. 6, у якій порівнюється енергетична продуктивність найбільш поширених біоенергетичних рослин.

Результати нашого дослідження, які представлені (табл. 7), підтверджують гіпотезу, що в біомасі павловнії акумулюються значні запаси енергії, які з віком плантації можуть збільшуватися прискореним темпом. Так, на однорічній плантації ці запаси становили в залежності від виду павловнії — 30,7 ГДж·га⁻¹ і 44,5 ГДж·га⁻¹, а на п'ятирічній — відповідно, 1167,2 та 1524,9 ГДж·га⁻¹. Побудовані регресійні моделі (табл. 8) показують, що щорічна швидкість такого збільшення є досить значною — 90,9% у павловнії Clone in vitro-112, і 92,2% на плантації павловнії повстистої.

Висновки. Плантації павловнії потрібно розглядати як важливе й ефективне джерело різноманітних регуляторних та ресурсних екосистемних послуг. Павловнія Clone in vitro-112 і павловнія повстиста характеризуються швидкими темпами накопичення усіх компонентів підземної та надземної біомаси, серед яких у перші три роки переважає стовбурова фітомаса, а також відзначаються високою вуглецепоглиняльною та значною киснетвірною здатностями. Динаміка цих показників упродовж п'ятирічного періоду культивування цих сортів павловнії найадекватніше описується експоненціальною функцією. Згідно побудованих моделей, щорічний темп приросту обсягів депонування вуглецю в деревині павловнії становить, відповідно, для Clone in vitro-112 і павловнії повстистої 82,2 і 82,8%, у гілках і листі — 102,1 і 105,4%, а у загальній фітомасі — 90,6 і 92,2%. Загальна киснепродуктивність павловнії на плантації також у перші 5 років збільшується із прискоренням. Швидкість таких змін є досить високою — 90,7% у Clone in vitro-112 і 92,2% у павловнії повстистої.

У біомасі павловнії акумулюються значні запаси енергії, які з віком плантації збільшуються також прискореним темпом. На п'ятирічній плантації біоенергетична продуктивність павловнії повстистої становить 1167,2 ГДж·га⁻¹, а Clone in vitro-112—1524,9 ГДж·га⁻¹. Враховуючи вищу ефективність генерування розглянутих екосистемних послуг, а також стерильність рослин павловнії Clone in vitro-112, саме цей гібрид варто рекомендувати для ширшого культивування в умовах України.

Фінансування досліджень. Статтю підготовлено у межах реалізації проекту з виконання наукового дослідження і розробки 2021.01/0416 «Впровадження кліматично-нейтральних інновацій в управління аграрним природокористуванням у контексті еколого-енергетичної безпеки України» за рахунок грантової підтримки Національного фонду досліджень України.

REFERENCES

- Bordus, O. Y., & Humentyk, M. Y. (2023). Improvement of Paulownia cultivation technology as a raw material for biofuel production. II All-Ukrainian Scientific and Practical Conference «Innovative Environmentally Friendly Technologies of Crop Production in Wartime Conditions.» August 31, 2023, Bila Tserkva. BCAU, pp. 36–38.
- Duralov, D. M., Tazabekov, A. Ch., Mirzaev, A. U., Nurbayev, K. M., Istablyaev, F. F., & Kurbunova, Sh. R. (2019). Advantages of Paulownia plantation cultivation experience of the Bulgarian company «Paulownia BG». International Conference of Young Scientists «Science and Innovation.» Tashkent, pp. 29–31.
- García-Morote, F. A., López-Serrano, F. R., Martínez-García, E., Andrés-Abellán, M., Dadi, T., Candel, D., Lucas-Borja, M. E. (2014). Stem biomass production of *Paulownia elongata* × *P. fortunei* under low irrigation in a semi-arid environment. *Forests*, 5(10), 2505–2520.
- Humentyk, M. Y., & Bordus, O. Y. (2023). Features of growth, development, and chemical composition formation of Paulownia biomass. *Novitni Aghrotehnologii*, 11(3).
- Humentyk, M., Bordus, O., Fuchylo, Y., Atamaniuk, O., Zatserkovna, N., & Yakymenko, O. (2023). Prospects for Paulownia cultivation in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Bulletin of Malyn Professional College*, (2), 19–28.
- Humentyk, M. Y., & Yabolnyk, O. O. (2020). Paulownia — a high-yielding crop for biofuel and timber production. *Bioenergetyka*, (2), 6–8.
- Iesipov, O., Polyashenko, S., & Sorokin, S. (2023). Paulownia as a renewable energy source. Modern engineering and innovative technologies. (25–01). 48–53.
- IPCC (1996). Land use change and forestry. In Revised. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. The Institute for Global Environmental Strategies (IGES). URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Ivaniuk, A. P., Zayachuk, V. Y., Kharachko, T. I., Kolodiy, T. V., & Myakush, B. M. (2021). Physical properties of Paulownia tomentosa (Thunb.) Steud. wood. *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, 31(4), 71–75.
- Ivaniuk, A. P., Zayachuk, V. Y., Lysiuk, R. M., & Darmohray, R. Y. (2023). Prospects for the use of Paulownia tomentosa (Thunb.) Steud. wood. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology*, 52(2), 38–46.
- Jakubowski, M., (2022). Cultivation potential and uses of Paulownia wood: A review. *Forests*, 13(5), 668.
- Jiménez L., Rodríguez A., Ferrer J. L., Pérez, A., & Angulo, V. Paulownia. a Fast Growing Plant. as a Raw Material for Paper Manufacturing. *Afinidad*. Vol. 62. No. 516. 2005. pp. 100–105.
- Joshi, N. R., Karki, S., Adhikari, M. D., Udas, E., Sherpa, S., Karki, B. S., Ning, W. (2015). Development of Allometric equations for Paulownia tomentosa to estimate biomass and carbon stocks: an assessment from ICIMOD Knowledge Park. Godavari. Nepal (p. 38). ICIMOD Working Paper 2015/10.
- Karpuk, L. M., & Titarenko, V. A. (2023). Dry matter and chlorophyll content in Paulownia plants of different vegetation years in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets*, (31), 38–46.
- Klymenko, L. O., & Myronenko, I. V. (2020). Introduction and adaptation of Paulownia tomentosa in educational and research plots of secondary schools in Mykolaiv region (regional ecological project). *Innovatika v Osviti*, September (1), 75–79.
- Kozakiewicz, P., Laskowka, A., & Ciolek, S. (2020). A Study of Selected Features of Shan Tong Variety of Plantation Paulownia and Its Wood Properties. *Annals of Warsaw University of Life Sciences. SGGW. Forestry and Wood Technology* 111: 116–123. URL: <https://www.researchgate.net/publication/348761752>
- Linnik, A. (2020). Paulownia as power culture. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 22(92), 19–22.
- López, F., Pérez, A., Zamudio, M. A., De Alva, H. E., & García, J. C. (2012). Paulownia as raw material for solid biofuel and cellulose pulp. *Biomass and Bioenergy*, 45, 77–86.
- Magar, L., B., Khadka, S., Joshi, J. R. R., Pokharel, U., Rana, N., Thapa, P., & Parajuli, N. (2018). Total biomass carbon sequestration ability under the changing climatic condition by Paulownia tomentosa Steud. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 6(3), 220–226.
- Makukh, Y. P., Remenyuk, S. O., Riznyk, V. M., & Moshkivska, S. V. (2022). The influence of weeds on the growth and development of Paulownia. *Bioenergetyka*, (1–2), 45–47.
- Martenyuk, H. M., Borysevykh, L. V., & Buhaienko, R. V. (2021). Paulownia — a promising tree species. Aspects of Sustainable Development of Forestry, Agriculture, Water, and Energy Management in the Polissya Zone of Ukraine: Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference (April 11, 2021), Zhytomyr, p. 120.
- Matskevych, O. V., & Lisovy, M. M. (2023). Features of in vitro propagation of Paulownia hybrid. VI International Scientific and Practical Conference «Biotechnology: Achievements and Hopes» (Dedicated to the 120th Anniversary of NUBiP of Ukraine), p. 218.
- Olave, R., Forbes, G., Muñoz, F., & Lyons, G. (2015). Survival, early growth and chemical characteristics of Paulownia trees for potential biomass production in a cool temperate climate. *Irish Forestry*, Vol. 72, 42–57.
- Pegoretti Leite de Souza, H.J., Muñoz, F., Mendonça, R.T.; Sáez, K.; Olave, R.; Segura, C.; de Souza, D.P.L.; de Paula Protásio, T.; Rodríguez-Soalleiro, R. Influence of Lignin Distribution, Physicochemical Characteristics and Microstructure on the Quality of Biofuel Pellets Made from Four Different Types of Biomass. *Renew. Energy* 2021, 163, 1802–1816.
- Podhayetskyi, A. A., Matskevych, V. V., Filipova, L. M., Kravchenko, N. V., & Karpuk, L. M. (2022). Optimization of Paulownia (Paulownia Siebold & Zucc.) in vitro cultivation technology. *Journal of Native and Alien Plant Studies*, (18), 191–208.
- Roik, M., Kovaichuk, N., & Humentyk, V. (2023). Features of Paulownia hybrid propagation in vitro and methods of transferring plantlets to soil conditions. *Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference «Innovative Development of Agriculture on the Basis of Ecological and Economic Balance.» Rivne*, pp. 113–114. Domínguez, E., Román, A., Domínguez, L., & Garrote, G. (2017). Evaluation of strategies for second generation bioethanol production from fast growing biomass Paulownia within a biorefinery scheme. *Applied Energy*, 187, 777–789.
- Spirchez, C., Japalela, V., Lunguleasa, A.; Buduroi, D. (2021). Analysis of Briquettes and Pellets Obtained from Two Types of Paulownia (Paulownia tomentosa and Paulownia elongata) Sawdust. *BioResources*, 16, 5083–5095.
- Testa, R., Schifani, G., Rizzo, G., & Migliore, G. (2022). Assessing the economic profitability of Paulownia as a biomass crop in Southern Mediterranean area. *Journal of Cleaner Production*, 336, 130426.
- Vusić, D.; Migalić, M.; Zečić, Ž.; Trkmić, M.; Bešlić, A.; Drvodelić, D. Fuel Properties of Paulownia Biomass. In *Proceedings of the Natural Resources, Green Technology and Sustainable Development/3-GREEN*, Zagreb, Croatia, 5–8 June 2018; pp. 126–130. URL: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:838890> (accessed on 22 April 2022).
- What are the Sustainable Development Goals? URL: <https://www.undp.org/ukraine/sustainable-development-goals>
- Yadav, N. K., Vaidya, B. N., Henderson, K., Lee, J. F., Stewart, W. M., Dhekney, S. A., & Joshee, N. (2013). A review of Paulownia biotechnology: A short rotation, fast growing multipurpose bioenergy tree. *American Journal of Plant Sciences*, 4(11), 2070–2082.
- Yadav, N., Rakholia, S., & Yosef, R. (2024). Decision Support Systems in Forestry and Tree-Planting Practices and the Prioritization of Ecosystem Services: A Review. *Land*, 13(2), 230.
- Zachar, M.; Lieskovský, M.; Majlingová, A.; Mitterová, I. Comparison of Thermal Properties of the Fast-Growing Tree Species and Energy Crop Species to Be Used as a Renewable and Energy-Efficient Resource. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2018, 134, 543–548.
- Zuazo, V. H. D., Bocanegra, J. A. J., Torres, F. P., Pleguezuelo, C. R. R., & Martínez, J. R. F. (2013). Biomass yield potential of paulownia trees in a semi-arid Mediterranean environment (S Spain). *International Journal of Renewable Energy Research*, 3(4), 789–793.

АНОТАЦІЯ.

УДК 630*165:502.55:631.95

Потенціал екосистемних послуг плантації павловнії в Україні: моделювання вікової динаміки

В. Я. Брич, Ю. І. Гайда, Я. Д. Фучило, В. М. Гументик, А. М. Шувар, О. В. Борисяк

У статті наведено результати кількісної оцінки потенціалу депонування вуглецю, секвестрування вуглекислого газу, киснепродуктивності та біоенергетичної продуктивності павловнії Clone in vitro-112 [Paulownia elongata S. Y. Hu × P. fortunei (Seem.) Hemsl.] і павловнії повстистої [P. tomentosa (Thunb.) Steud.] впродовж перших п'яти років культивування на плантації у середмісті м. Києва. Встановлено, що у сприятливих умовах павловнія може генерувати значні обсяги ресурсних і регуляторних екосистемних послуг. П'ятирічні плантації павловнії повстистої і Clone in vitro-112 депонували, відповідно, 29,62 і 39,10 т С на 1 га, секвестрували 108,57 і 143,36 т CO₂ на 1 га, продукували 14,21 і 18,77 т кисню на 1 га. Біоенергетична продуктивність таких плантацій також є достатньо високою — відповідно, 1167,2 і 1524,9 ГДж/га-1. Динаміка обсягів екосистемних послуг у перші п'ять років культивування є висхідною й адекватно апроксимується моделями експоненціальної регресії. Враховуючи вищу біопроductivність та низьку інвазійну здатність через стерильність насіння, сорт павловнії Clone in vitro-112 рекомендовано до ширшого культивування в Україні.

Ключові слова: павловнія, депонування вуглецю, киснепродуктивність, біопаливо, екосистемні послуги

ABSTRACT

Potential of Ecosystem Services of Paulownia Plantations in Ukraine: Modeling Age Dynamics

Brych V., Hayda Yu., Fuchylo Ya., Humentyk V., Shuvar A., Borysiak O.

The article presents the results of a quantitative assessment of the carbon deposition potential, carbon dioxide sequestration, oxygen production, and bioenergetic productivity of Paulownia Clone in vitro-112 [Paulownia elongata S. Y. Hu × P. fortunei (Seem.) Hemsl.] and Paulownia tomentosa [(Thunb.) Steud.] during the first five years of cultivation in a plantation located in the central part of Kyiv, Ukraine. The study demonstrates that under favorable conditions, Paulownia can generate substantial amounts of resource and regulatory ecosystem services. Five-year-old plantations of P. tomentosa and Clone in vitro-112 deposited 29.62 and 39.10 t C ha⁻¹, sequestered 108.57 and 143.36 t CO₂ ha⁻¹, and produced 14.21 and 18.77 t O₂ ha⁻¹, respectively. The bioenergetic productivity of these plantations was also relatively high, reaching 1167.2 and 1524.9 GJ ha⁻¹, respectively. The dynamics of ecosystem service provision over the first five years followed an upward trend and were well approximated by exponential regression models. Given its higher biomass productivity and low invasive potential due to seed sterility, the Paulownia Clone in vitro-112 cultivar is recommended for broader cultivation in Ukraine.

Keywords: Paulownia, carbon deposition, oxygen production, biofuel, ecosystem services

ПОСІВНІ ЯКОСТІ НАСІННЯ СОРГО ЗВИЧАЙНОГО (ДВОКОЛЬОРОВОГО) ЗАЛЕЖНО ВІД ОБРОБКИ БІОПРЕПАРАТАМИ

ГАНЖЕНКО О.М.,

доктор с.-г. наук, orcid.org/0000-0002-8118-1645

ЗЛИДЕННИЙ І.І.,

аспірант, orcid.org/0009-0004-2787-2287

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН
Ganzhenko74@gmail.com

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Подальший розвиток людської цивілізації передбачає перехід до циркулярної економіки, основою якої є кліматично нейтральні технології в усіх сферах діяльності людини. На це спрямовані глобальні екологічні ініціативи, серед яких найбільш вагомими є Паризька Кліматична Угода [3] та Зелений Європейський Курс [6]. У галузі аграрного виробництва особливої актуальності набувають ресурсоефективні технології, спрямовані на зменшення застосування синтетичних добрив та пестицидів під час вирощування сільськогосподарських культур, водночас, підвищується роль препаратів біологічного походження.

Глобальне підвищення температури повітря та дефіцит вологі спонукають сільськогосподарських виробників звертати більше уваги на теплолюбні рослини з низьким коефіцієнтом транспірації. До таких рослин відноситься сорго звичайне (двокольорове) (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.), біомаса (зерно та стебла) якого може використовуватись для продовольчих, кормових та біоенергетичних цілей [4]. Сьогодні встановлено оптимальні параметри типової технології вирощування сорго звичайного (двокольорового) в різних ґрунтово-кліматичних зонах України [14, 16, 17, 18], проте відсутні дослідження, спрямовані на вивчення впливу біологічних препаратів, таких як “Біочар” та “Мікофренд”, на посівні якості насіння.

Застосування біочару дозволяє підвищити врожайність сільськогосподарських культур, покращити агрофізичні властивості ґрунту та зменшити викиди парникових газів [7, 8]. Сумісне використання біочару з мікоризоутворюючими біопрепаратами дає синергетичний ефект та сприяють

активному заселенню кореневої та прикореневої зони мікоризними грибами та сапрофітними ризосферними бактеріями [2]. Підвищення ролі мікоризи в контексті глобальних змін клімату обумовлене більш ефективним використанням вологі рослинами [1]. Водночас доведено позитивну роль обробки насіння різних сільськогосподарських культур мікоризоутворюючими препаратами, що підвищує їх посівні якості [11, 19].

Мета дослідження — підвищити посівні якості насіння сорго звичайного (двокольорового) шляхом його обробки мікоризоутворюючим біопрепаратом і біочаром та встановлення оптимальних доз застосування цих біопрепаратів.

Матеріали та методика дослідження. Лабораторні дослідження проводились у лабораторії насінництва, насінництва та розсадництва Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН впродовж 2023–2024 років. Насіння сорго зви-

чайного (двокольорового) обробляли мікоризоутворюючим біопрепаратом “Мікофренд” (фактор А) та вуглецево-містким адсорбентом “БМ-нанобіочар” (фактор В) в розрахунку 0, 3, 6 та 9 г препарату на 1 кг насіння.

Мікоризоутворюючий біопрепарат “Мікофренд” (ТУ У 24.1–30165603–020:2010), виготовлений на основі грибів *Glomus* sp. з додаванням мікроорганізмів, що підтримують утворення мікоризи та ризосфери рослин, а також фосфатмобілізуючих бактерій і біологічно активних речовин. Біопрепарат “БМ-нанобіочар” (ТУ У 20.1–2571100774–001:2021) отриманий термохімічним перетворенням біомаси з розміром часточок менше 5 мкм, загальною площею поверхні 864 м²/г та вмістом вуглецю 95%.

У досліді використовували насіння сорго звичайного (двокольорового) ранньостиглого гібрида “Сват” селекції Інституту зернових культур НААН [15]. Маса 1000 насінин становила 28,2±0,4 г за вологості насін-

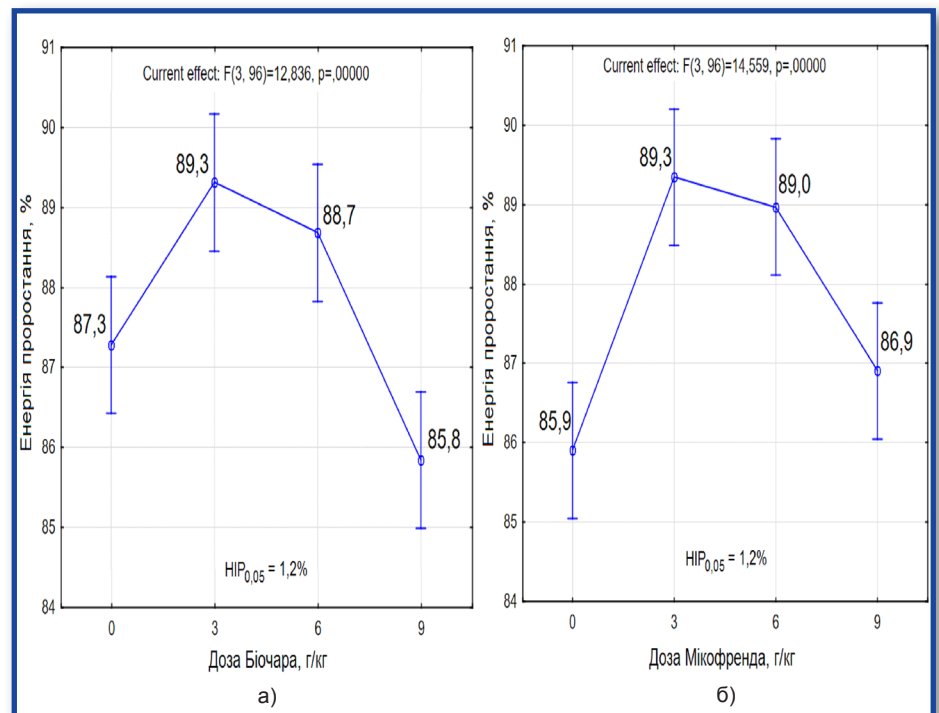


Рис. 1. Залежність енергії проростання насіння сорго звичайного (двокольорового) від його обробки біологічними препаратами: а) – БМ-нанобіочар; б) – Мікофренд

ня $14,1 \pm 0,3\%$.

Дослідження із визначення енергії проростання та лабораторної схожості насіння проводили відповідно до ДСТУ 4138 [12], при цьому облік енергії проростання здійснювали через 4 доби, лабораторної схожості — через 10 діб. Отримані експериментальні дані обробляли методами описової статистики, регресійним та дисперсійним (ANOVA) аналізами з використанням програмного середовища Statistica [13].

Результати дослідження та обговорення. За результатами досліджень встановлено, що застосування біопрепаратів “Мікофренд” і “БМ-нанобіочар” для обробки насіння сорго звичайного (двокольорового) має суттєвий вплив на його посівні якості. Так, за обробки насіння “БМ-нанобіочаром” у дозі 3 г/кг енергія проростання зростає від 87,3% (необроблений контроль) до 89,3% за найменшої істотної різниці $HIP_{0,05}=1,2\%$ (рис. 1а). Збільшення дози застосування “БМ-нанобіочар” до 6 г/кг призвело до незначного (в межах HIP) зменшення енергії проростання насіння до 88,7%. Подальше підвищення дози до 9 г/кг суттєво пригнічувало енергію проростання, яка на цьому варіанті досліджу була меншою ніж на контролі й становила 85,8%.

Аналогічним на енергію проростання насіння сорго звичайного (двокольорового) був вплив “Мікофренду”. Так, за обробки насіння “Мікофрендом” у дозі 3 г/кг енергія проростання зростає від 85,9% (контроль) до 89,3% (рис. 1б). Збільшення дози “Мікофренду” до 6 г/кг призвело до незначного (в межах HIP) зниження енергії проростання до 89,0%, а подальше підвищення дози до 9 г/кг — спричинило суттєве зменшення енергії проростання насіння до 86,9%. Таким чином, максимальні значення енергії проростання насіння сорго звичайного (двокольорового) досягаються за його обробки “БМ-нанобіочаром” та “Мікофрендом” у дозі 3 г на кілограм насіння.

Обробка насіння сорго звичайного (двокольорового) біопрепаратами істотно впливала на його лабораторну схожість. За результатами досліджень встановлено, що обробка насіння “БМ-нанобіочаром” у дозі 3 г/кг забезпечило підвищення лабораторної схожості від 89,8% (контроль) до 91,3%, водночас збільшення дози до 6 г/кг не вплинуло на лабораторну схожість насіння, яка на цьому варіанті досліджу залишалась на рівні 91,3% (рис. 2а). Подальше збільшення дози

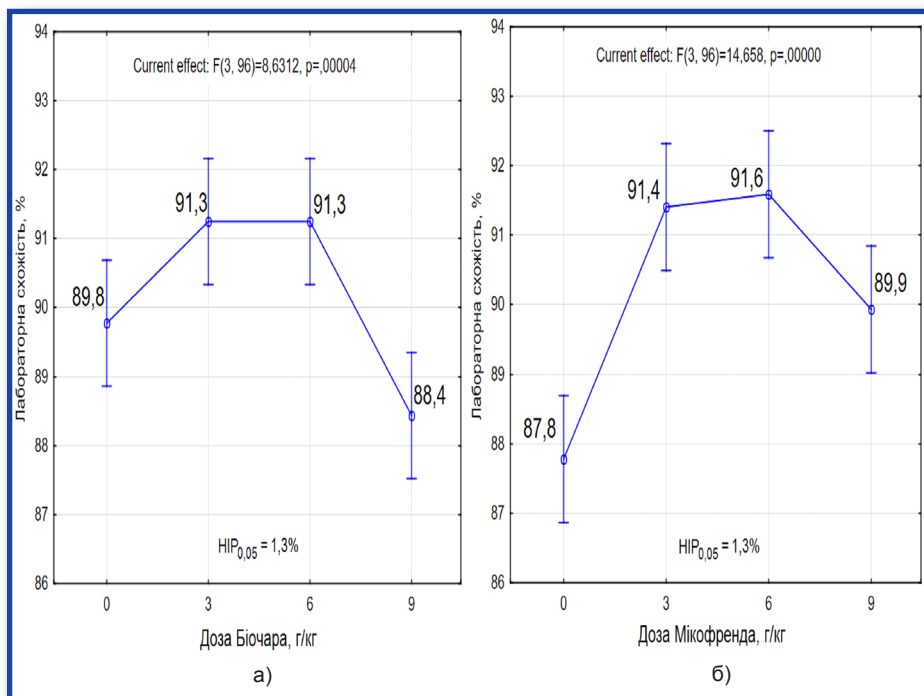


Рис. 2. Залежність лабораторної схожості насіння сорго звичайного (двокольорового) від його обробки біологічними препаратами: а) – БМ-нанобіочар; б) – Мікофренд

“БМ-нанобіочару” до 9 г/кг призвело до суттєвого зниження лабораторної схожості насіння до 88,4 відсотка.

Обробка насіння сорго звичайного (двокольорового) “Мікофрендом” також суттєво впливала на його лабораторну схожість (рис. 2б). Так, застосування “Мікофренду” у дозі 3 г/кг насіння підвищувало його лаборатор-

ну схожість на 3,6% порівняно з необробленим контролем (від 87,8 до 91,4%), при цьому найменша істотна різниця становила $HIP_{0,05}=1,3\%$. Збільшення дози “Мікофренду” до 6 г/кг несуттєво вплинуло на лабораторну схожість насіння, водночас подальше збільшення дози до 9 г/кг призвело до значного зменшення лаборатор-

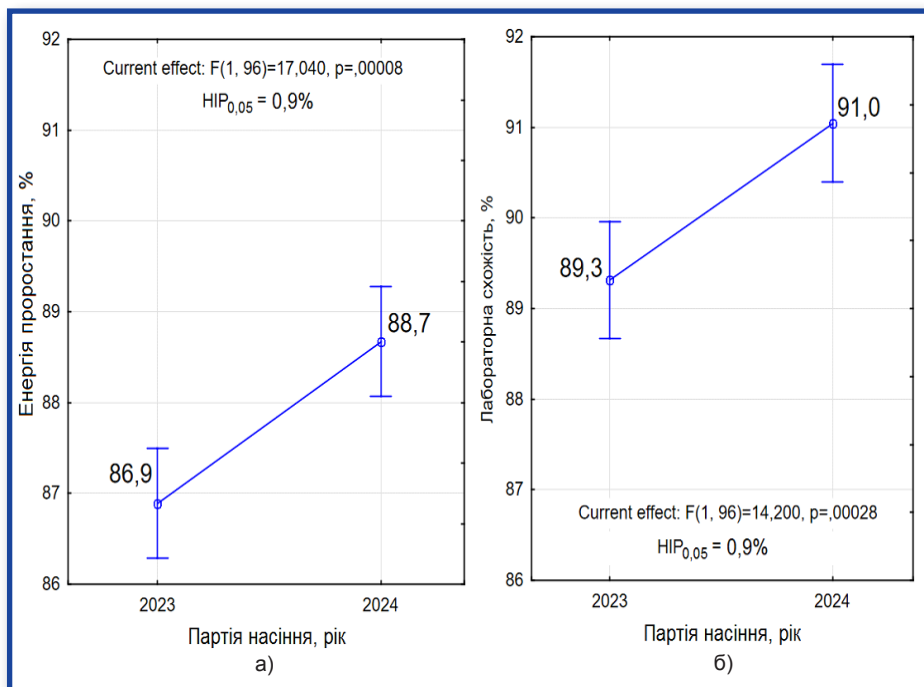


Рис. 3. Залежність посівних якостей насіння сорго звичайного (двокольорового) від партії насіння: а) – енергія проростання; б) – лабораторна схожість

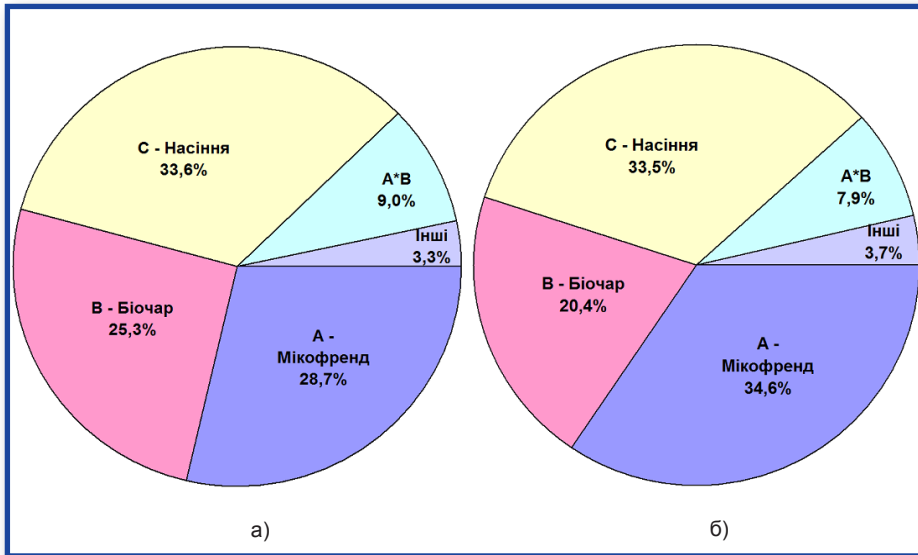


Рис. 4. Вплив факторів дослідження на посівні якості насіння: а) – енергія проростання; б) – лабораторна схожість

ної схожості до 89,9 відсотки. Таким чином, застосування біопрепаратів “БМ-нанобіочар” і “Мікофренд” у дозі 3–6 г/кг для обробки насіння сорго звичайного (двокольорового) сприяє підвищенню його лабораторної схожості на 1,5 і 3,6% відповідно.

Слід відмітити, що партія насіння сорго звичайного (двокольорового), яка використовувалась для проведення досліджень у 2024 році мала вищі показники посівної якості порівняно з партією насіння 2023 року (рис. 3).

Так, середні у досліді значення енергії проростання та лабораторної схожості насіння сорго звичайного (двокольорового) у 2023 році становили, відповідно, 86,9 і 89,3 відсотка, а у 2024 році — 88,7 і 91,0 відсоток.

За результатами дисперсійного аналізу встановлено, що досліджувані фактори суттєво впливали на посівні якості насіння сорго звичайного (двокольорового). Так, обробка насіння “Мікофрендом” була причиною 28,7% варіювання енергії проростання,

стання, “БМ-нанобіочаром” — 25,3%, а спільна дія обох препаратів впливала на 9,0 відсотка (рис. 4а). Найбільше на показник енергії проростання впливала партія насіння (33,6%). Вплив інших факторів і ефекту взаємодії був незначним і в сумі становив 3,3 відсотка. Варіювання показника лабораторної схожості найбільше залежало від застосування “Мікофренду”, частка впливу якого становила 34,6 відсотка (рис. 4б). Дещо меншим на лабораторну схожість насіння був вплив його обробки “БМ-нанобіочаром” (20,4%), при цьому частка впливу спільної дії обох біопрепаратів складала 7,9 відсотка. Вплив партії насіння на лабораторну схожість становив 33,5 відсотки.

За результатами регресійного аналізу встановлено тісну криволінійну залежність ($R^2=0,97-0,99$) між посівними якостями насіння сорго звичайного (двокольорового) та дозами застосування біопрепаратів “БМ-нанобіочар” та “Мікофренд”, яка описується поліномами другого порядку (рис. 5). Аналіз отриманих залежностей свідчить, що оптимальна доза “БМ-нанобіочару”, за якої досягається найвищий показник посівної якості насіння, становить 3,8–3,9 г/кг, “Мікофренду” — 4,5–5,2 г на кілограм насіння.

Висновки.

1. Обробка насіння сорго звичайного (двокольорового) біопрепаратами “БМ-нанобіочар” та “Мікофренд” у дозі 3 г на 1 кг насіння дозволяє підвищити його енергію проростання на 2,0 та 3,4% відповідно, за найменшої істотної різниці $HP0,05=1,2\%$, водночас лабораторна схожість підвищується, відповідно, на 1,5 та 3,6 відсотка.

2. Найбільший вплив на енергію проростання насіння чинили партія насіння (33,6%), дози застосування “Мікофренду” (28,7%) та “БМ-нанобіочару” (25,3%), при цьому ефект спільної дії обох біопрепаратів впливав на 9,0 відсотка.

3. Варіювання показника лабораторної схожості найбільше залежало від застосування “Мікофренду” (34,6%), дещо нижчим був вплив партії насіння (33,5%) та “БМ-нанобіочару” (20,4%), при цьому частка впливу спільної дії обох біопрепаратів складала 7,9 відсотка.

4. Встановлено тісну криволінійну залежність ($R^2=0,97-0,99$) між посівними якостями насіння сорго звичайного (двокольорового) та дозами застосування біопрепаратів “БМ-нанобіочар” та “Мікофренд”, яка описується поліномами другого порядку.

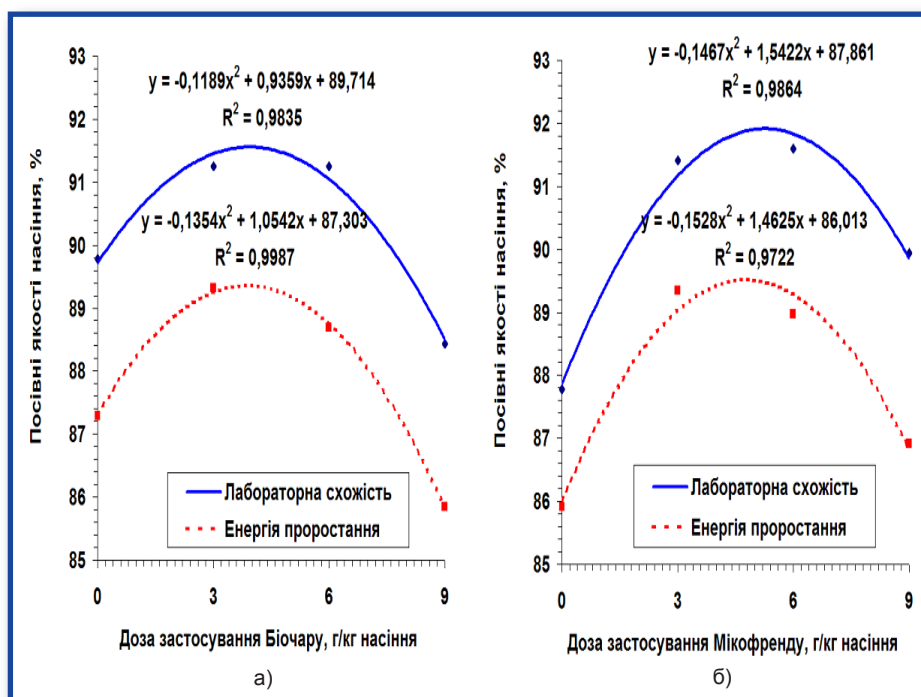


Рис. 4. Залежність посівних якостей насіння сорго звичайного (двокольорового) від доз застосування біопрепаратів: а) – БМ-нанобіочар; б) – Мікофренд

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Auge R.M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 2001. Vol. 11, Iss. 1. P. 3-42. Doi: 10.1007/s005720100097
2. Bhandana P., Rana M.S., Sun X.C., Moussa M.G., Saleem M.H. et. al. Arbuscular mycorrhizal fungi and its major role in plant growth, zinc nutrition, phosphorus regulation and phytoremediation. *Symbiosis*. 2021. Vol. 84, Iss. 1. P. 19-37. Doi: 10.1007/s13199-021-00756-6
3. Bombelli A., Di Paola A., Chiriac M.V., Perugini L. et. al. Climate Change, Sustainable Agriculture and Food Systems: The World After the Paris Agreement. Achieving the Sustainable Development Goals Through Sustainable Food Systems. 2019. P.25-34. Doi: 10.1007/978-3-030-23969-5_2
4. Hossain M.S., Islam M.N., Rahman M.M., Mostofa M.G. et. al. Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2022. Vol. 8. Article No100300. Doi: 10.1016/j.jafr.2022.100300
5. Jones D.L., Hodge A., Kuzyakov Y. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. *New Phytologist*. 2004. Vol. 163, Iss. 3. P. 459-480. Doi: 10.1111/j.1469-8137.2004.01130.x
6. Kanatas P., Travlos I., Gazoulis I., Antonopoulos N. et. al. Biostimulants and Herbicides: A Promising Approach towards Green Deal Implementation. *Agronomy-Basel*. 2023. Vol. 12, Iss. 12. Article No3205. Doi: 10.3390/agronomy12123205
7. Kavitha B., Reddy P.V.L., Kim B., Lee S.S. et. al. Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. *Journal of Environmental Management*. 2018. Vol. 227. P. 146-154. Doi: 10.1016/j.jenvman.2018.08.082
8. Panahi H.K.S., Dehghani M., Ok Y.S., Nizami A.S. et. al. A comprehensive review of engineered biochar: Production, characteristics, and environmental applications. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 270. Article No122462. Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122462
9. Smith S.E., Jakobsen I., Grönlund M., Smith F.A. Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Phosphorus Nutrition: Interactions between Pathways of Phosphorus Uptake in Arbuscular Mycorrhizal Roots Have Important Implications for Understanding and Manipulating Plant Phosphorus Acquisition. *Plant Physiology*. 2011. Vol. 156, Iss. 3. P. 1050-1057. Doi: 10.1104/pp.111.174581
10. Smith S.E., Smith F.A. Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. *Annual Review of Plant Biology*. 2011. Vol. 62. P. 227-250. Doi: 10.1146/annurev-arplant-042110-103846
11. Димитров С. Г., Саблук В. Т., Тищенко М. В., Смірних В. М. Мікоризуючі препарати та їхній симбіоз із рослинами пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.). Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2019. Випуск 27. С. 51-61.
12. ДСТУ 4138 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Держспоживстандарт України. 2003. 148 с.
13. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ: ПоліграфКонсалтинг, 2007. 55 с.
14. Іваніна В.В., Пашинська К.Л., Смірних В.М. Винос та баланс елементів живлення в агроценозі сорго зернового залежно від удобрення. Вісник аграрної науки. 2021. №12 (99). С. 28-32. doi.org/10.31073/agroviznyk202112-03
15. Науково-методичні рекомендації «Каталог сортів та гібридів ДУ Інститут зернових культур НААН України». Відповідальний за випуск: І. О. Кулик. Дніпро, ДУ ІЗК НААН. 2020. 132 с.
16. Правдива Л. А., Яланський О. В. Продуктивність та елементи структури врожайності різних сортів сорго звичайного двоколірного (*Sorghum bicolor* L.). Новітні агротехнології. 2022. Том 10, Вип. 3. Doi: 10.47414/na.10.3.2022.270497
17. Правдива Л.А. Вплив мінерального живлення рослин на формування біометричних показників сорго зернового. Збірник наукових праць «Агробіологія». 2022. № 1. С. 43-52. Doi: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-43-52
18. Титаренко О.С., Карпук Л.М. Урожайність та енергетична ефективність сорго зернового за різних заходів догляду за посівами. Збірник наукових праць «Агробіологія». 2022. № 1. С. 145-151. Doi: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-145-151
19. Хоменко Т., Дацько А., Квасніцька Л. Вплив обробки насіння комплексним мікоризотвірним препаратом мікофренд на продуктивність сої в умовах правобережного Лісостепу України. Новітні технології в АПК: дослідження та управління. 2019. Випуск 24 (38). С. 260-267. http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2019-1-24(38)-27

АНОТАЦІЯ

Посівні якості насіння сорго звичайного (двоколірного) залежно від обробки біопрепаратами

О.М. Ганженко, І.І. Злиденний,

У статті наведено результати досліджень щодо залежності посівних якостей насіння сорго звичайного (двоколірного) (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) від його обробки біологічно активним адсорбентом "БМ-нанобіочар" та мікоризотвірним біопрепаратом "Мікофренд". Встановлено оптимальну дозу застосування біопрепаратів "БМ-нанобі-

очар" і "Мікофренд", за яких досягається максимальні значення енергії проростання та лабораторної схожості насіння сорго звичайного (двоколірного). **Мета роботи** – підвищити посівні якості насіння сорго звичайного (двоколірного) шляхом його обробки мікоризотвірним біопрепаратом і біочаром та встановлення оптимальних доз застосування біопрепаратів. **Предмет досліджень** – посівні якості насіння сорго звичайного (двоколірного), біочар та мікоризотвірний біопрепарат. **Методи досліджень** – біологічні (проведення лабораторного досліді) та статистичні (описова статистика, дисперсійний (ANOVA) та регресійний аналізи). **Результати досліджень** свідчать, що застосування для обробки насіння сорго звичайного (двоколірного) біопрепарату "БМ-нанобіочар" у дозі 3 г/кг дозволяє підвищити енергію проростання від 87,3 % (контроль) до 89,3 % ($HP_{0,05}=1,2$ %), при цьому лабораторна схожість зростала від 89,8 % (контроль) до 91,3 % ($HP_{0,05}=1,3$ %). Обробка насіння сорго звичайного (двоколірного) біопрепаратом "Мікофренд" у дозі 3 г/кг забезпечує підвищення енергії проростання від 85,9 % (контроль) до 89,3 % ($HP_{0,05}=1,2$ %), водночас лабораторна схожість насіння зростає від 87,8 % (контроль) до 91,4 % ($HP_{0,05}=1,3$ %). Збільшення дози застосування досліджуваних біопрепаратів до 6 г/кг несуттєво впливало на енергію проростання та лабораторну схожість, водночас, подальше збільшення дози "БМ-нанобіочару" і "Мікофренду" до 9 г/кг призводило до зниження посівних якостей насіння сорго звичайного (двоколірного). Найбільший вплив на енергію проростання насіння спричинили партія насіння (33,6 %), дози застосування біопрепаратів "Мікофренд" (28,7 %) та "БМ-нанобіочар" (25,3 %), при цьому ефект спільної дії обох біопрепаратів становив 9,0 відсотків. Варіювання показника лабораторної схожості найбільше залежало від застосування "Мікофренду" (34,6 %), дещо нижчим був вплив партії насіння (33,5 %) та "БМ-нанобіочару" (20,4 %), а ефект від спільної дії обох біопрепаратів склав 7,9 відсотка. Встановлено тісну кореляційну залежність ($R^2=0,97 - 0,99$) між посівними якостями насіння сорго звичайного (двоколірного) та дозами застосування біопрепаратів "БМ-нанобіочар" і "Мікофренд", яка описується поліномами другого порядку. Розраховано коефіцієнти рівнянь регресії та проведено їх оптимізацію.

Ключові слова: Біоенергетика, біочар, енергія проростання, зелений європейський курс, лабораторна схожість, мікоризотвірний препарат, сталий розвиток.

ANNOTATION

Sowing qualities of sorghum seeds depending on treatment with biological preparations

O.Hanzhenko, I.Zlydennyi

The article presents the results of research on the dependence of sowing qualities of sorghum seeds (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) on its treatment with the biologically active adsorbent BM-nanobiochar and the mycorrhiza-forming biopreparation Mycofriend. The optimal dose of biological preparations BM-nanobiochar and Mycofriend, which achieves the maximum values of germination energy and laboratory germination of sorghum seeds, has been established. The **purpose** of the work is to improve the sowing quality of sorghum seeds by treating them with a mycorrhiza-forming biopreparation and biochar and establishing optimal doses of biopreparations. The **subject** of research is the sowing qualities of the seeds of common (two-color) sorghum, biochar and mycorrhizal biopreparation. **Research methods** are biological (conducting a laboratory experiment) and statistical (descriptive statistics, variance (ANOVA) and regression analyses). The **results** of the research show that the use of the biopreparation BM-nanobiochar in a dose of 3 g/kg for the treatment of sorghum seeds allows to increase the energy of germination from 87.3% (control) to 89.3% ($LSD_{0.05}=1.2$ %), while laboratory similarity increased from 89.8% (control) to 91.3% ($LSD_{0.05}=1.3$ %). Treatment of sorghum seeds with the biological preparation Mycofriend at a dose of 3 g/kg provides an increase in the energy of germination from 85.9% (control) to 89.3% ($LSD_{0.05}=1.2$ %), while laboratory germination of seeds increases from 87.8% (control) to 91.4% ($LSD_{0.05}=1.3$ %). Increasing the dose of the tested biological preparations to 6 g/kg did not significantly affect germination energy and laboratory germination, while further increasing the dose of BM-nanobiochar and Mycofriend to 9 g/kg led to a decrease in the sowing qualities of sorghum seeds. The seed batch (33.6%), doses of Mycofriend (28.7%) and BM-nanobiochar (25.3%) biological preparations had the greatest influence on seed germination energy, while the combined effect of both biological preparations affected 9.0 percent. The variation of the laboratory germination indicator most depended on the use of Mycofriend (34.6%), the effect of the batch of seeds (33.5%) and BM-nanobiochar (20.4%) was slightly lower, and the effect of the combined effect of both biological preparations was 7.9 percent. A close correlation dependence ($R^2=0.97 - 0.99$) was established between the sowing qualities of sorghum seeds and the doses of biological preparations BM-nanobiochar and Mycofriend, which is described by second-order polynomials. The coefficients of the regression equations were calculated and their optimization was carried out.

Keywords: Bioenergetics, biochar, germination energy, green European course, laboratory germination, mycorrhizal preparation, sustainable development.

ЗАСТОСУВАННЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

ПРИСЯЖНЮК О. І. —

д.с.-г.н., професор;

МАЛЯРЕНКО О.А. —

с.н.с.;

КОНОНЮК Н. О. —

к.с.-г.н.;

ЧЕРНЯК М.О. —

PhD;

ГОНЧАРУК О. М. —

PhD;

МУСІЧ В.В. — PhD.

*Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН України, вул.
Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна,
e-mail: ollpris@gmail.com*

Вступ. Абіотичні й біотичні фактори впливають на фізіологічні процеси в рослинах. Нестача вологи, або навпаки, перезволоження ґрунту, висока або низька температура, нестача поживних речовин, забруднення ґрунту — всі ці фактори виявляють негативний вплив на швидкість фотосинтезу [77]. Адже фотосинтетичні реакції рослин побудовані так, що нестача певних факторів живлення або несприятливі умови вирощування спричиняють уповільнення або навіть повну зупинку процесів фотосинтезу. Внаслідок цього рослини можуть загинути, або ж їхня врожайність зменшується і якість урожаю погіршується. Забезпеченість необхідними поживними речовинами в тій чи іншій фазі росту й розвитку рослин, як і умови вирощування, має великий вплив на фізіологічний стан рослин, зокрема, процес фотосинтезу. Візуальні спостереження за станом рослин упродовж вегетаційного періоду часто не є достатнім методом ідентифікації стану рослин, наприклад у випадку нестачі певних поживних речовин. Також на практиці, одним із надійних показників визначення стану фотосистеми рослин є встановлення концентрації хлорофілу в листі. Кількість сонячного випромінювання, поглиненого листям, корелює з концентрацією фотосинтетичних пігментів у ньому [53; 68; 77; 82]. Однак, застосування цього методу потребує лабораторних досліджень або ж використання приладів здатних вимірювати кількість хлорофілів в листках неруйнівним способом. При цьому справедливою є критика стосовно того що ці прилади показують лише кількість хло-

рофілів а не ефективність їх роботи [75].

Іншим методом дистанційної діагностики, що активно розвивається, є визначення різноманітних вегетаційних індексів рослин за допомогою дронів або супутника (GNDVI, NDWI, SAVI, OSAVI, ARVI, EVI, VARI, LAI, NBR, SIPI, GCI, NDSI, ISTACK). Однак, проблематика використання методів дистанційного зондування полягає у швидкості оновлювання інформації, не здатності визначити багато видів стресу рослин і сильної залежності якості зображень від погодних умов. Іншими словами використання цих методів доцільне в глобальному вимірі, коли площі під сільськогосподарськими культурами значні і часу на визначення індивідуальних параметрів стану рослин у полі немає [62]. В випадку вирощування біоенергетичних культур ми маємо середні розміри ділянок від декількох гектарів до 20–30 гектарів [73], що не зовсім добре корелює з можливостями супутникового моніторингу.

Флюорисценція хлорофілу, яку можна визначити за допомогою портативного приладу — спектрометра, є параметром, що може виявляти в рослин стан стресу, спричиненого різними абіотичними факторами [47; 54; 77; 82].

Посуховий стрес у рослин С3 визначається за протоколу Templer et al. [80] з використанням показників Fv/Fm при температурі повітря 26 °С і вище. Цей спосіб ідентифікації дозволяє раннє виявлення стресового стану рослин — через добу після закінчення запасів доступної вологи. У С3 рослин фотодихання вважається причиною незадовільних результатів ранньої діагностики посухового стресу за допомогою стандартних тестів Fv/Fm і Y(II), які ефективно працюють лише за сильної посухи [26; 27]. Причому, вимірювання значень Fv/Fm можна проводити для визначення сильного посухового стресу коли рослини перебувають приблизно 7 діб без доступної вологи [4; 22].

Для С4 рослин можна застосовувати показник Fv/Fm [77; 82].

Для рослин С3 найчастіше застосовують такі тести на посуховий стрес:

вимірювання показників газообміну gs, E та A. Gs — провідність мезофілу, є найчутливішим параметром для визначення стресу в рослинах С3. Швидкість транспірації E і швидкість асиміляції вуглецю A також є чутливими параметрами

для визначення посухового стресу;

визначення Fv/Fm за температури повітря не нижче 26 °С. Встановлено, що після підвищення температури з 20 °С до 26 °С показник Fv/Fm набуває необхідної точності для встановлення стресового стану рослин через добу після виникнення нестачі вологи [80];

визначення Fs/Fo і Fs–Fo за використання зразків адаптованих до темнового тесту має хорошу чутливість до помірного водного стресу і достатню точність для винограду й деревних культур, і достатню для більшості інших культур С3 [26; 27; 28].

Кращим тестом для рослин С4 є визначення Y(II) [22], ETR/A або J/A [13; 15; 16]. Також Y(II) визначається у спеціальному тесті Burke [8; 9]. На світланку зразки листових пластинок збирають за допомогою листового пуансона та зберігають у вологому стані на лотку для тканинних культур. У зразках вимірюють значення Y(II), а потім на 30 хв поміщають у піч, нагріту до 40 °С. Лоток виймають із печі і дають йому схолонути й досягти стабільного стану фотосинтезу при кімнатному освітленні. Потім у кожному зразку повторно вимірюють Y(II). Було виявлено, що показники листків, які не зазнавали посухового стресу нижчі, ніж тих, що зазнавали. Цей аналіз ефективний, оскільки листки, які перебувають в стані дефіциту вологи, затримують цукри, вироблені вночі, і тому вони менш сприйнятливі до теплового стресу під час проведення цього тесту.

Інші тести на посуховий стрес, які можна вважати ефективними в тій чи іншій мірі, такі:

комбінований тест із визначення Y(II) й асиміляції вуглецю (A). Поєднання газообміну й флуоресценції хлорофілу є потужним інструментом для ідентифікації посухового стресу, оскільки воно показує, як нестача вологи впливає на різні частини світлової та темної реакції фотосинтезу;

Fs/Fo тест з адаптацією до світла також можна використовувати для визначення посухового стресу, хоча він не настільки чутливий до тест Burke, але його можна використовувати для деяких рослин С3 типу фотосинтезу, наприклад, винограду [27];

визначення NPQ. Є дані, що підтвер-

джують що NPQ можна використовувати при помірному посуховому стресі [13];

PIABS тест за швидкої адаптації до темряви. Він теж не настільки чутливий, як Y(II) ETR, або аналіз Burke у рослин C4. Тест добре корелює з даними обміну CO₂ [81; 89], але працює лише при сильному посуховому стресі приблизно через 7 днів від його початку [81].

K Step — тест за швидкої адаптації до темряви за допомогою протоколу OJIP працює лише при сильному посуховому стресі у рослин Strasser et al., [78].

Стрес через надмірну вологу можна визначити за допомогою показників: Fv/Fm, OJIP та вмісту хлорофілу із використанням коефіцієнта флуоресценції F735/F700. Усі ці тести є швидкими й вимагають адаптації до темряви, окрім тесту F735/F700 [41; 70].

Світловий стрес можна ефективно визначити за допомогою більшості протоколів флуоресценції [14; 23; 42; 45; 46]. Можна застосовувати тест на визначення Fv/Fm у листках, адаптованих до темряви [1; 2]. Також ефективним є визначення $\Delta F/F_m$, або Y(II) [25; 49]. Крім того ефективним є визначення PIABS за допомогою швидкого адаптованого до темряви тесту за протоколом OKJIP [81].

Quenching and Quenching Relaxation Test — найкращий тест для вивчення механізмів фотозахисту, причому, для кож-

ного механізму розроблені відповідні вимірювані параметри [14; 23].

Також використовуються криві світлової реакції, що показують результати впливу рівня світла на Y(II) та швидкості переносу електронів [42; 59].

RLC криві (Rapid Light Curves) призначені для вимірювання реакції рослини на змінні умови освітлення, особливо за хмарної, дощової або вітряної погоди [69]. Вони добре корелюють із активністю рибублозобісфосфаткарбоксилази RuBisCo в умовах змінної освітленості [50; 51; 52]. RLC криві використовуються для ідентифікації стану затінених рослин, де освітлення постійно змінюється, а інші методи визначення можуть бути складними [67].

Тепловий стрес можна визначити кількома способами. Так, у рослинах C3 тепловий стрес супроводжується окислювальним стресом, і результати визначення можуть залежати від застосованого протоколу. За даними Haldimann і Feller [32], тест на визначення Y(II) — швидкий і чутливий і може визначати тепловий стрес при температурі 35 °C і вище. А от Fv/Fm може визначити тепловий стрес лише при температурі >45 °C.

F735/F700 — співвідношення флуоресценції хлорофілу до вмісту хлорофілу, дозволяє виявити тепловий стрес у C3 рослин при температурі близько 35 °C і вище [37].

Визначення показника A — газообмінної асиміляції вуглецю дозволяє виявити тепловий стрес при 30 °C і вище. Хоча застосування газообмінного приладу не завжди є виправданим з точки зору витрат на нього [32].

PIABS — швидкий тест, адаптований до темряви, чутливий до теплового стресу за визначення за допомогою протоколу OJIP. Це нормалізований параметр для порівняння різних зразків. Тест нечутливий до теплового стресу за температури нижче 44 °C [78].

NPQ — це тест, який займає 20–35 хвилин і потребує адаптації до темряви протягом ночі. Це довгий і трудомісткий тест, який підходить для оцінювання невеликої кількості рослин [79].

Комбіновані тести Y(II) або ETR й асиміляції вуглецю (A) — комбінація CO₂ газообміну та флуоресценції хлорофілу є потужним інструментом для визначення теплового стресу, оскільки він показує, як тепловий стрес впливає на різні частини світлової та темної реакції фотосинтезу. Газообмін дозволяє ідентифікувати тепловий стрес при 30 °C, тоді як Y(II) і NPQ виявляють тепловий стрес при 35 °C [33].

Холодовий стрес доволі складний у діагностиці за допомогою пристроїв для вимірювання флуоресценції хлорофілу. Так, показники ETR втричі перевищують

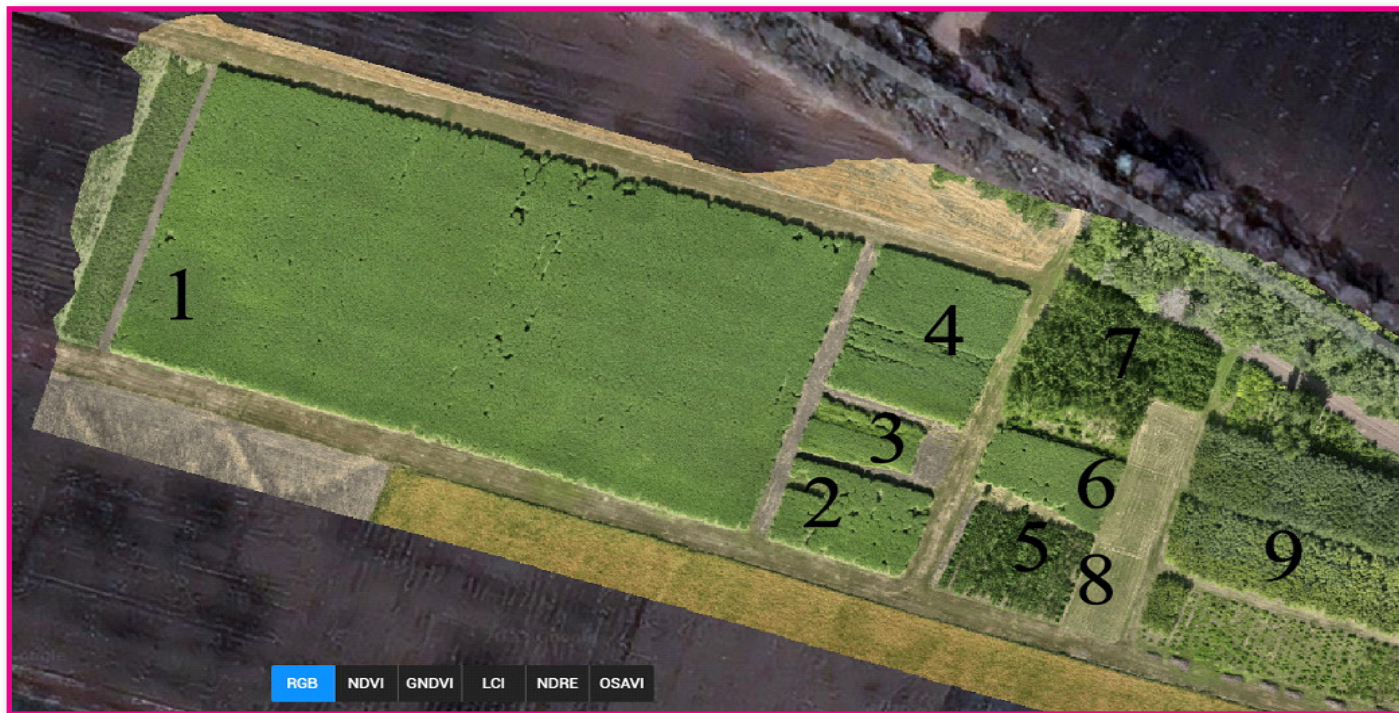


Рис. 1 Загальний вигляд плантацій біоенергетичних культур:

1 — міскантус гігантський, сорт Осінній зорецвіт, 2018 р.; 2 — міскантус гігантський, сорт Осінній зорецвіт, 2015 р.; 3 — міскантус гігантський, сорт Осінній зорецвіт, 2015 р.; 4 — міскантус гігантський, сорт Осінній зорецвіт, 2022 р.; 5 — тополя чорна, 2022 рік, 6 — міскантус гігантський, сорт Осінній зорецвіт, 2016 р.; 7 — тополя чорна, 2019 р.; 8 — просо прутівидне, сорт Морозко, 2017 р.; 9 (1) — верба, нижній ряд — тритичинкова, 2012 р., середній ряд (2) — прутівидна сорт Збруч, 2012 рік, верхній ряд (3) — прутівидна, сорт Тернопільська, 2013 р.



Рис. 2. Загальний вигляд фото-метра FLS 10s

нормальні показники при холодному стресі в рослин. Крім того, рослини, що зазнають холодного стресу, демонструють неоднорідну флуоресценцію хлорофілу в межах одного листка [6]. А тому для визначення цього виду стресу застосування кількох вимірювань у різних місцях на одному листку забезпечує достовірні результати вимірювань [10; 11].

Тест ETR/CO₂ асиміляції або J/A дозволяє визначити співвідношення ETR у фотосистемі II до змін асиміляції CO₂.

У стресових умовах ETR приблизно втричі перевищує прогнозовані вимірюваннями асиміляції вуглецю. Цей тест можна виконати за допомогою комбінованого спектрофотометра, що має газообмінну систему. Додатковою перевагою є те, що він визначає флуоресценцію по всій площі листової поверхні, усуваючи проблему неоднорідної флуоресценції листка [30].

Визначення Y(II) (Fv/Fm) або ΔF'/FM' ефективності фотосистеми II — швидкий світловий тест, що може визначити помірний холодний стрес у стійкому стані [1; 2] і підходить для міскантусу [29]. Також ефективним є вивчення кінетики релаксації після впливу світла та низьких температур. За цим методом проводять вивчення ΔpH просвіту тилакоїдів, циклів ксантофілу та фотоінгібування за допомогою NPQ, qN, qP, qL, qE, qT, qI, Y(NPQ), Y(NO) [13]. Також є дослідження, які засвідчують можливість застосування швидкого тесту Fv/Fm листка, адаптованого до темряви, для визначення помірного холодного стресу [1; 2], у тому числі й у міскантусу [29].

Тест для вивчення кінетики релаксації після впливу світла можна використовувати також для визначення ефективності перезимівлі рослин [13], як і тест, що визначає криві світла — ступінчастий актиніновий тест [2].

Стрес, викликаний дефіцитом елементів живлення, можна визначати за допомогою стандартних методів вимірювання флуоресценції хлорофілу, наприклад шляхом визначення Fv/Fm. Однак

для вимірювання азотного та сірчаного стресу потрібні нестандартні методи [17; 31; 54].

Стрес, викликаний дефіцитом азоту, можна ідентифікувати за допомогою показників CCI та SPAD — коефіцієнтів пропускання-поглинання. Визначаються вони а допомогою приладів, що аналізують світло, відбите листям на двох різних довжинах хвиль червоного діапазону: спектр дуже чутливий до вмісту хлорофілу 680–710 нм і червоний діапазон 711–800 нм, який нечутливий до вмісту хлорофілу в листках. Співвідношення двох значень забезпечує CCI та SPAD. Цей тип приладів широко використовується для вимірювання стресу від нестачі азоту в кукурудзи [83], пшениці [55], рису [72], сої [84], картоплі [44] і винограду [21].

Співвідношення коефіцієнтів флуоресценції F735/F700 забезпечує найкращу кореляцію з результатами вмісту хлорофілу й найбільший діапазон вимірювань. Такі методи вимірювання, як CCI або SPAD добре працюють для стандартних листків, але вони не підходять для культур із дрібними листками, для яких хорошим рішенням буде метод F735/F700 [10; 11; 31]. Метод апробовано на рисі [39] і кукурудзі [12; 20].

Ефективність фотосистеми II або Y(II) при високих рівнях освітленості теж використовується для ідентифікації стресу від нестачі азоту в рослин C3 типу фотосинтезу. Цей аналіз вимагає вимірювання Y(II) за високого рівня освітлення, що

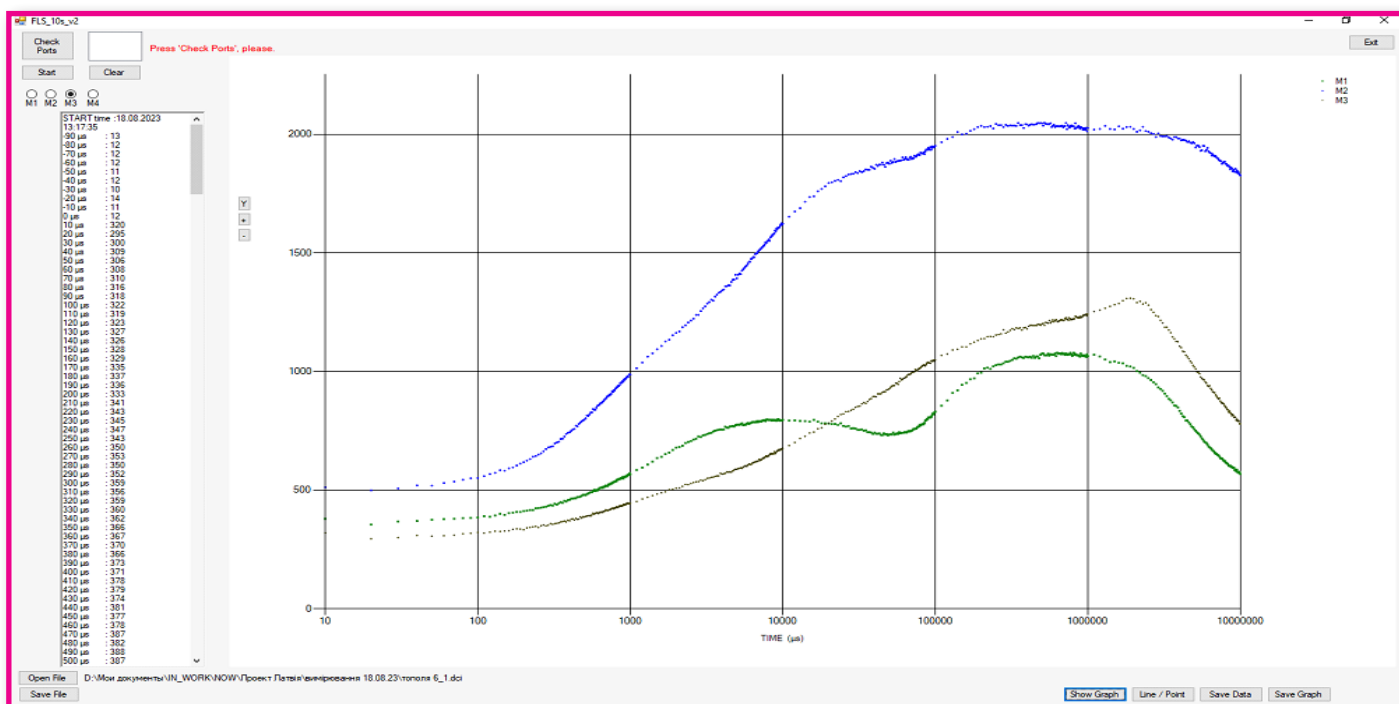


Рис. 3. Криві точок даних отримані за допомогою приладу FLS 10s (синім кольором — міскантус гігантський, зеленим — верба, сірим — тополя)

покращує роздільну здатність вимірювань азотного стресу [17].

К Step — швидкий тест адаптованого до темряви листка, що має високу чутливість при значному дефіциті азоту в сої та кукурудзи [6; 78; 85].

qP — тест показує дефіцит азоту при значній нестачі цього елемента, але не дозволяє ідентифікувати дефіцит сірки [5].

Швидкий тест Y(II) також може бути використаний для аналізу стресового стану рослин від нестачі азоту. Однак, азотний стрес повинен бути значним та потрібні високі рівні освітленості рослин за проведення даного типу вимірювань [5; 13; 17].

Стрес, викликаний дефіцитом фосфору, можна ідентифікувати за допомогою визначення показника Fv/Fm [76]. Також досліджено, що показник PIABS чутливий до фосфорного стресу в сорго [71].

Стрес, викликаний дефіцитом калію, можна визначити за даними ефективності фотосистеми II (Y(II)), NPO та qP. Проведені дослідження на рослинах рису показали ефективність застосування цих параметрів для виявлення дефіциту калію [86].

Стрес, викликаний дефіцитом бору, можна визначити за допомогою показника ефективності фотосистеми II (Y(II)) і ETR — швидкого тесту, адаптованого до світла. Так, проведені дослідження показали чутливість даного тесту до дефіциту бору в соняшнику [40].

Стрес, викликаний дефіцитом кальцію, можна ідентифікувати за допомогою показника Fv/Fm. Встановлено, що даний показник показує стрес від нестачі Ca у рослинах томатів та яблунях [74].

Стрес, викликаний дефіцитом хлору, можна визначити за допомогою визначення показника ефективності фотосистеми II (Y(II)), ETR, або Fv/Fm. Всі ці показники виявились чутливими до хлорного стресу у рослинах кавунів [88].

Стрес, викликаний дефіцитом кобальту, визначається за допомогою показника ефективності фотосистеми II (Y(II)) [38].

Стрес, викликаний дефіцитом міді, можна визначити за показником ефективності фотосистеми II (Y(II)) [38; 43]. Також ефективним є визначення Fo/Fm за допомогою повільного тесту адаптованого до темряви листка [1]. Дослідженнями підтверджено ефективність визначення стресу за допомогою показника Fv/Fm [5; 66].

Стрес, викликаний дефіцитом заліза, можна визначити за допомогою CCI вимірювача вмісту хлорофілу, який використовується для виявлення хлорозу листя, викликаного дефіцитом сірки

та заліза [18; 19]. Швидкий тест К Step, адаптований до темряви, також є чутливим до дефіциту заліза в сої та кукурудзи [36]. Також нестачу заліза визначають за допомогою тесту ефективності фотосистеми II (Y(II)). Коли втрата хлорофілу перевищує 70%, то нестачу в цьому елементі живлення можна ідентифікувати в буряків цукрових і за різкою зміною показника Fv/Fm [58].

Стрес, викликаний дефіцитом магнію, можна визначити за допомогою тесту PIABS [35].

Стрес, викликаний дефіцитом марганцю, можна визначити за допомогою визначення показника Fv/Fo — швидко-го тесту, адаптованого до темряви [2].

Стрес, викликаний дефіцитом молібдену, можна визначити за допомогою CCI — хлорофілметра [7].

Стрес, викликаний дефіцитом нікелю, можна ідентифікувати, визначаючи ETR, а також ефективність фотосистеми Y(II). А от визначення Fv/Fm не є точним показником ідентифікації стресу від нестачі нікелю [38].

Стрес, викликаний дефіцитом сірки, ідентифікують визначенням показників CCI або SPAD у листі за допомогою хлорофілметра. Це не флуоресцентні параметри хлорофілу, а показники, які визначають зеленість та оптичну щільність листка. Зазвичай ці параметри визначаються за допомогою хлорофілметрів, які використовують для підживлення рослин азотними добривами, таких як сенсори Yara. В той же час флуоресценція хлорофілу не є хорошим показником для ідентифікації стресового стану рослин при дефіциті сірки [5; 19]. Також встановлено, що до дефіциту сірки на рівні голодування рослин чутливий qP тест [5].

Стрес, викликаний дефіцитом цинку, можна визначити за допомогою вимі-



Рис 4. Спектр опромінення синім світлодіодом рослин приладом FLS 10s

рювання вмісту хлорофілу. В той же час вимірювання показників FS в ефективності фотосистеми II (Y(II)), та Fv/Fm не є ефективним для визначення дефіциту цинку [38].

Чутливість до визначення стресу від **алюмінію** в рослинах мають такі показники як Fv/Fo [5; 38; 65], (FP - FI)/FI [5], VJ [38] qP та qN. А от показник Fv/Fm не такий чутливий, як Fv/Fo [5; 38].

Стрес, викликаний **кадмієм**, можна ідентифікувати за допомогою визначення показника qN, який чутливіший до концентрації кадмію, ніж Fv/Fm [38], або ж вимірюванням вмісту хлорофілів F735/F700 [56].

Стрес, викликаний **меркурієм**, ідентифікують за допомогою вимірювання Fv/Fm, qN та J і I в OJIP [5; 32; 33; 38].

Таблиця 1

Показники Fv/Fm та вмісту макроелементів в ґрунті

Культура *	Показник Fv/Fm	N, мг/кг	P, мг/кг
1	0,76	19,5	20,9
2	0,73	19,3	20,2
3	0,79	19,6	20,7
4	0,83	23,5	19,0
5	0,84	23,8	21,5
6	0,82	22,0	20,8
7	0,85	24,5	21,1
8	0,81	20,8	19,7
9 (1)	0,62	12,8	24,7
9 (2)	0,65	13,0	21,0
9 (3)	0,87	25,1	18,8

* див позначення культур рисунок 1

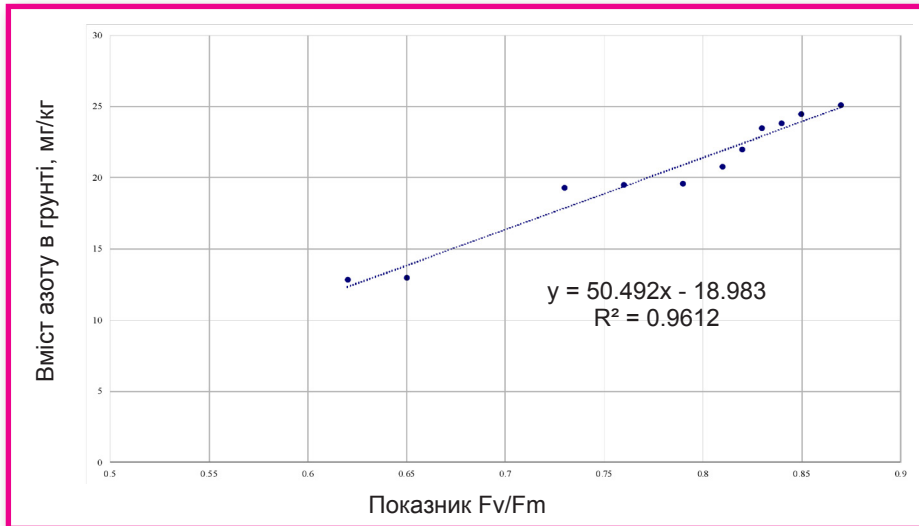


Рис. 5. Залежність між вмістом азоту в ґрунті та станом фотосистеми

Стрес, викликаний **нікелем**, визначається за ETR, а співвідношення Fv/Fm не є хорошим показником стресу рослин [38].

Сольовий стрес неоднаково успішно можна ідентифікувати в рослин С3 і С4. Так, дуже чутливим показником сольового стресу в рису є визначення qN, а от показник Fv/Fm не дозволив досягнути прийнятного рівня точності. Для міскантуса підходить показник Fv/Fm [82]. Дослідження показали ефективність визначення показників qN, qP, Fv/Fm, Y(II) та ETR для ідентифікації сольового стресу в рослин сорго, які належать до рослин С4 [57; 63].

Стрес, викликаний пошкодженням рослин патогенами, можна ідентифікувати різними методами, залежно від типу інфекції [60; 61]. Так, тест NPQ можна застосовувати для визначення іржі на листках вівса й вірусу тютюнової мозаїки в тютюну [48]. Fv/Fm тест може

бути використаний для ідентифікації іржі квасолі, визначення *Penicillium digitatum* [60; 61], ідентифікації біотичного стресу від ушкодження рослин вірусами та визначення стійкості рослин до іржі кукурудзи [24]. За допомогою тесту Fm-Fs/Fm можна ідентифікувати вірус тютюнової мозаїки [64].

Стрес, викликаний пошкодженням листків членистоногими, можна ідентифікувати за даними ефективності PSII (Y(II)) [3; 87]. Стрес від пошкоджень листків спричинений личинками комах, можна ідентифікувати за показниками Fv/Fm [34].

Стрес від присутності на полі бур'янів можна ідентифікувати за допомогою вимірювання вмісту хлорофілу в листках кукурудзи або ж визначення співвідношення хлорофілів F735/F700 [12].

Метою цього дослідження було ви-

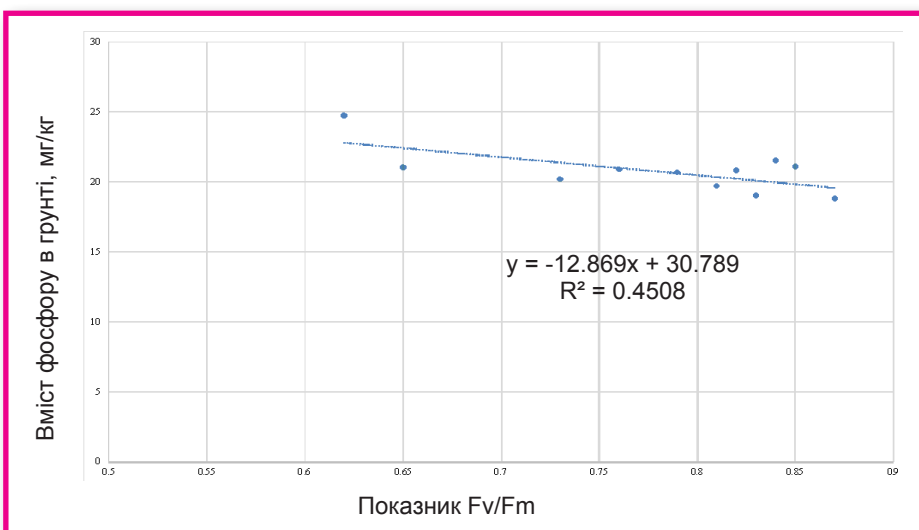


Рис. 6. Залежність між вмістом фосфору в ґрунті та станом фотосистеми

значити можливості фотометра до встановлення рівня забезпеченості біоенергетичних культур.

Методика досліджень. Польові дослідження виконували в умовах зони нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (с. Ксавєрівка друга, Київська область) та зони достатнього зволоження на Ялтушківській дослідно-селекційній станції ІБКІЦБ (с. Черешневе, Вінницька область) у 2022–2024 роках.

Ґрунт Дослідного поля ІБКІЦБ — чорнозем глибокий середньосуглинковий на лесовидному суглинку: вміст гумусу — 2,58% (за Тюрнімом), лужногідролізованого азоту — 176 мг/кг ґрунту (за Корнфільдом), рухомих сполук фосфору та калію — 160 і 95 мг/кг ґрунту (за Чиріковим), рНсольове — 6,75, сума ввібраних основ — 305 мг-екв/кг ґрунту, гідролітична кислотність — 9,1 мг-екв/кг. Вміст гумусу та лужногідролізованого азоту середній, вміст рухомого фосфору високий та підвищений вміст калію.

Дослідження з вивчення реакції рослин на вплив елементів живлення та їх доступність рослинам проводили в використанні фотометра FLS10s, розробки Інституту кібернетики НАН України, автор Олександр Вороненко. На відміну від попередніх приладів що розроблялись та вироблялись Інститутом кібернетики дана модель має високу потужність опромінення фотосинтезуючих частин рослин, що дозволяє вийти на новий рівень точності вимірювань, гнучкість інтерфейсу з визначення стану рослин та пов'язану з цим наукову привабливість до використання (рис. 2), а графіки даних отримуваних приладом на посадках біоенергетичних культур зображено на рисунку 3.

Точність фотометрів напряму залежить від якості компонентів використовуваних для його виготовлення. Технологія вимірювань ефекту Каутського та все що з нею пов'язано не потребує додаткової сертифікації або валідації, оскільки в самій процедурі вимірювань закладено протокол корекції похибок. Однак, для проведення вимірювань в культурі *in vitro* буряків цукрових важливо мати достатньо потужне джерело опромінення синього світла, рівномірне за спектром випромінювання. В даному випадку ми проводили додаткові визначення ефективності роботи джерела опромінення фотометра FLS10s зображені на рисунку 4.

Зазвичай джерелом світла для сучасних фотометрів виступає світлодіод, в ширині спектру від 435 до 530 нм включно і чим більше потужність опромінення — тим краще для отримання більш точніших вимірювань стану рослин.

Дослідження вмісту елементів живлення в ґрунті виконували за допомогою Palintest SKW 500 Complete Soil Kit — професійної портативної лабораторії.

Погодні умови за роки досліджень були строкатими, з градацією від надмірного зволоження до посухи, однак такими що дозволили ефективно визначити потенціал продуктивності біомаси біоенергетичних культур.

Експериментальні дослідження проводили згідно методик польового дослідження та спеціальних методик [9, 10, 11].

Результати досліджень. Показник стану фотосистеми та вмісту макроелементів в ґрунті під біоенергетичними рослинами подано в таблиці 1.

Як видно з даних таблиці показник стану фотосистеми Fv/Fm змінюється в межах від 0,62 до 0,85 що загалом відповідає гарному фізіологічному стану рослин. Тобто побічно можна стверджувати про те, що рослини на час проведення вимірювань не піддаються іншими видами стресу.

При порівнянні експериментальних даних ми спостерігаємо й певні залежності зв'язку показника стану фотосистеми Fv/Fm з вмістом в ґрунті елементів живлення. Тому, для більш повного оці-

нювання залежностей проведемо кореляційно-регресійний аналіз результати якого наведені на рисунках 5–6.

Як видно з даних отриманих рівнянь між вмістом азоту в ґрунті та показниками фотосистеми рослин існує пряма дуже сильна кореляційна залежність ($r = 0,98$), а між вмістом фосфору в ґрунті та станом фотосистеми спостерігається зворотна значна кореляційна залежність ($r = -0,67$).

Наявність зворотної кореляції між вмістом фосфору та станом фотосистеми рослин потребує більш глибокого дослідження. Однак, на нашу думку, це викликано тим що в випадку дефіциту азоту рослини не так активно засвоюють фосфор з ґрунту, оскільки дефіцит одного елемента живлення не можна замінити надлишком іншого.

Також рівняння множинної регресії впливу на показник стану фотосистеми Fv/Fm доступності макроелементів в ґрунті набуває наступного вигляду:

$$Fv/Fm = 0,49 + 0,018N - 0,004P$$

Отже, у біоенергетичних культур стан фотосистеми доволі сильно залежить від доступності макроелементів живлення, особливо азоту.

Висновки.

Визначено що розрахунок показни-

ків флюоресценції хлорофілу є швидким і надійним способом ідентифікації широкого спектру видів стресу як у сільськогосподарських культур, так і в біоенергетичних. Однак, важливим питанням точної діагностики стану рослин залишається правильний підбір вимірюваних показників, оскільки широкий спектр параметрів вимірювань потребує додаткової кваліфікації.

Досліджено, що за відсутності стресів у біоенергетичних культур стан фотосистеми доволі сильно (показник Fv/Fm) залежить від доступності рослинами макроелементів живлення, особливо азоту, що є біогенним елементом. При цьому між вмістом азоту в ґрунті та показниками фотосистеми рослин існує пряма дуже сильна кореляційна залежність ($r = 0,98$), а між вмістом фосфору в ґрунті та станом фотосистеми спостерігається зворотна значна кореляційна залежність ($r = -0,67$).

Дослідження з визначення станів біоенергетичних рослин варто продовжити з використанням умов контрольованого клімату, як найбільш точного для виокремлення окремих станів — стресів від нестачі або надлишку факторів впливу (погодних умов, елементів живлення, тощо).

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Adams M., Norvell A., Philpot D. and Peverly J. (2000). Spectral detection of Micronutrient Deficiency in 'Bragg' Soybean. *Agronomy J.*, 92, 261–268.
2. Adams W.W. and Demmig-Adams B. (2004). Chlorophyll Fluorescence as a tool to Monitor Plant Response to the Environment. From Chapter 22, "Chlorophyll a Fluorescence a Signature of Photosynthesis", edited by George Papageorgiou and Govindjee, published by Springer 2004, PO Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands, 598–599.
3. Aldea M., Hamilton J., Joseph P., Resti J., Zangerl A., Berenbaum M., Frank T. and DeLucia E. (2006). Comparison of photosynthetic damage from arthropod herbivory and pathogen infection in understory hardwood saplings. *Oecologia*, 149(2), 221–232.
4. Arrobas M., Aguiar P. and Rodrigues M. A. (2016). A comparison of a pasture ley with a maize monoculture on the soil fertility and nutrient release in the succeeding crop. *Journal Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(6).
5. Baker N.R., Rosenquist E. (2004). Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55(403), 1607–1621.
6. Baker N.R. (2008). Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 89–113.
7. Biscaro G.A., Goulart S. A.R., Soratto R. P., Freitas N. A.F., Motomiya A. V.A. and Filho G. C.C. (2009). Molybdenum applied to seeds and side dressing nitrogen on irrigated common bean in cerrado soil. *Ciência e Agrotecnologia*, 33(5) <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000500012> CIÊNCIAS AGRÁRIAS
8. Burke J. (2007). Evaluation of Source Leaf Responses to Water-Deficit Stresses in Cotton Using a Novel Stress Bioassay. *Plant Physiology*, 143, 108–121.
9. Burke J., Franks C. D. Burow G. and Xin, Z. (2010). Selection system for the Stay-Green Drought Tolerance Trait in Sorghum Germplasm. *Agronomy Journal*, 102, 1118–1122.
10. Buschmann C. (2007). Variability and application of the chlorophyll fluorescence emission ratio red/far-red of leaves. *Photosynthesis Res.*, 92, 261–271.
11. Buschmann C. (2008). Recommended taking multiple measurements per leaf to find potential infection locations as a substitute for fluorescence leaf imaging. *Botanik 2*, Universität Karlsruhe (TH), 76128 Karlsruhe (Germany).
12. Butts T., Miller J. J., Pruitt D. J., Vieira B. C., Oliveira M. C., Ramirez II.S. and Lindquist J. L. (2017). Light Quality Effect on Corn Growth

as Influenced by Weed Species and Nitrogen Rate. *Journal of Agricultural Science Home*, 9(1).

13. Cavender-Bares J. and Fakhri A. (2004). From Leaves to Ecosystem: Using Chlorophyll A to Assess Photosynthesis and Plant Function in Ecological Studies. From Chapter 29, "Chlorophyll a Fluorescence a Signature of Photosynthesis", edited by George Papageorgiou and Govindjee, published by Springer 2004, PO Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands, pp. 746–747.
14. Cazzaniga S., Osto L. D., Kong S-G., Wada M. and Bassi R. (2013). Interaction between avoidance of photon absorption, excess energy dissipation and zeaxanthin synthesis against photooxidative stress in Arabidopsis. *The Plant Journal*, 76(4), 568–579. DOI: 10.1111/tj.12314
15. Cerovic Z., Sampson G., Morales F., Tremblay N. and Moya I. (1999). Ultraviolet-induced fluorescence for plant monitoring: present state and prospects. *Agronomie*, 19, 543–578.
16. Cerovic Z., Goulas Y., Gorbunov M., Britantais J-M., Camenen L. and Moya I. (1996). Fluorescence of water stress in plants. Diurnal changes of mean lifetime and yield of chlorophyll fluorescence, measured simultaneously at distance with a Lidar and modified PAM-fluorometer, in maize, sugar beet and Kalanchoe. *Remote Sens Environment*, 58, 311–321
17. Cheng L., Fuchigami L. and Breen P. (2001). The relationship between photosystem II efficiency and quantum yield for CO₂ assimilation is not affected by nitrogen content in apple leaves. *Journal of Experimental Botany*, 52(362), 1865–1872
18. Christensen M., Teicher H. and Streibig J. (2003). Linking fluorescence induction curve and biomass in herbicide screening. *Pest Manag. Sci.*, 59, 1303–1310.
19. Christensen R.C., Hopkins B. G., Jolley V. D., Olson K. M., Haskell C. M., Chariton N. J. and Webb B. L. (2012). Elemental sulfur impregnated with iron as a fertilizer source for Kentucky bluegrass. *Journal of Plant Nutrition*. 1878–1895. doi: 10.1080/01904167.2012.706684
20. Clark M.J. and Zheng Y. (2017). Effect of Top-dressed Controlled-release Fertilizer Rates on Nursery Crop Quality and Growth and Growing Substrate Nutrient Status in the Niagara Region, Ontario, Canada. *HortScience*, 52(1), 167–173. doi: 10.21273/HORTSCI11309-16
21. D'Attilio D. (2014). Optimizing nitrogen fertilization practices under intensive vineyard cover cropping floor management systems. Virginia Tech, <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/5661>
22. da Silva J. A. and Arrabaca M.C. (2004). Photosynthesis in the water-stressed C4 grass *Setaria sphacelata* is mainly limited by stomata

with both rapidly and slowly imposed water deficits. *Physiologia Plantarum*, 121(3), 409–420. doi: 10.1111/j.1399-3054.2004.00328.x

23. Dall'Osto L., Cazzaniga S., Wada M. and Bassi R. (2014). On the origin of a slowly reversible fluorescence decay component in the Arabidopsis npq4 mutant. *Phil. Trans. R. Soc.*, 2(25), 369.

24. Duraes F., Gama E., Magalhaes P., Marriel I., Casela C., Oliveira A., Luchiar A. and Shanahan J. (2001). The usefulness of chlorophyll fluorescence in screening for disease resistance, water stress tolerance, aluminum toxicity tolerance, and N use efficiency in Maize. Seventh Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference 11th — 15th February, 2001. pp. 356–360.

25. Earl H. and Said Ennahli S. (2004). Estimating photosynthetic electron transport via chlorophyll fluorometry without Photosystem II light saturation. *Photosynthesis Research*, 82, 177–186.

26. Flexas J., Briantais M. J., Cerovic Z., Medrano H. and Moya I. (2000). Steady-state and maximum chlorophyll fluorescence responses to water stress in grape vine leaves: A new remote sensing system. *Remote Sensing Environment*, 73, 283–270.

27. Flexas J., Escalona J. M. and Medrano H. (1999). Water stress induces different levels of photosynthesis and electron transport rate regulation in grapevines. *Plant, Cell & Environment*, 22(1), 39–48.

28. Flexas J., Escalona J. M., Evain S., Gullas J., Moya I., Osmond C. B. and Medrano H. (2002). Steady-state chlorophyll fluorescence (Fs) measurements as a tool to follow variations of net CO₂ assimilation and stomatal conductance during water-stress in C3 plants. *Physiologia Plantarum*, 114(2), 231–240.

29. Fonteyne S., Lootens P. and Reheul D. (2017). Evaluation of chilling and frost stress tolerance in miscanthus: from winter survival and early-season growth to final biomass yield. *Gent: UGent*.

30. Fryer M. J., Andrews J. R., Oxborough K., Blowers D. A. and Baker N. E. (1998). Relationship between CO₂ Assimilation, Photosynthetic Electron Transport, and Active O₂ Metabolism in Leaves of Maize in the Field during Periods of Low Temperature. *Plant Physiol*, 116, 571–580.

31. Gitelson A. A., Buschmann C. and Lichtenthaler H. K. (1999). The Chlorophyll Fluorescence Ratio F735/F700 as an Accurate Measure of Chlorophyll Content in Plants. *Remote Sens. Environ*, 69, 296–302.

32. Haldimann P. and Feller U. (2004). Inhibition of photosynthesis by high temperature in oak (*Quercus pubescens* L.) leaves grown under natural conditions closely correlates with a reversible heat dependent reduction of the activation state of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase. *Plant, Cell & Environment*, 27, 1169–1183. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01222.x>

33. Haldimann P. and Tsimilli-Michael M. (2002). Mercury inhibits the non-photochemical reduction of plastoquinone by exogenous NADPH and NADH: evidence from measurements of the polyphasic chlorophyll a fluorescence rise in spinach chloroplasts. *Photosynth Res*, 74(1), 37–50. doi: 10.1023/A:1020884500821.

34. Hall DE., Macgregor K. B., Nijse J. and Bown AW. (2004). Footsteps from insect larvae damage leaf surfaces and initiate rapid responses. *European Journal of Plant Pathology*, 110(4), 441–447.

35. Hermans C., Johnson G. N., Strasser R. J. and Verbruggen N. (2004). Physiological characterization of magnesium deficiency in sugar beet: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II. *Planta*, 220, 344–355.

36. Jiang C-D., Gao H-Y. and Zou Q. (2006). Changes of Donor and Acceptor Side in Photosystem 2 Complex Induced by Iron Deficiency in Attached Soybean and Maize Leaves. *Photosynthetica*, 41(2), 267–271.

37. Jones G. B., Alpuerto J. B., Tracy B. F. and Fukao T. (2017). Physiological Effect of Cutting Height and High Temperature on Regrowth Vigor in Orchard grass. *Front. Plant Sci.*, 19(8). <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00805>

38. Joshi M. K. and Mohanty P. (2004). Chlorophyll a fluorescence as a probe of heavy metal ion toxicity in plants. In: Papageorgiou G. C. (eds.): *Chlorophyll Fluorescence: A Signature of Photosynthesis Advances in Photosynthesis and Respiration*. Springer, Dordrecht: pp. 637–661.

39. Kan C-C., Chung T-Y., Juo Y-A. and Hsieh M-H. (2015). Glutamine rapidly induces the expression of key transcription factor genes involved in nitrogen and stress responses in rice roots. *Kan et al. BMC Genomics*, 16:731 doi: 10.1186/s12864-015-1892-7

40. Kastori R., Plesnicar M., Pankovic D. and Sakac, Z. (1995). Photosynthesis, chlorophyll fluorescence and soluble carbohydrates in sunflower leaves as affected by boron deficiency. *Journal of plant nutrition*, 18(9).

41. Kim Y., Seo C-W., Khan A.L., Mun K.B-G., Shahzad R., Ko J-W., Yun B-W. and In-Jung Lee I-J. (2018). Ethylene mitigates waterlogging stress by regulating glutathione. *bioRxiv*. doi: <https://doi.org/10.1101/252312>

42. Kramer D.M., Johnson G., Kilarats O. and Edwards G. (2004). New fluorescence parameters for determination of QA redox state and excitation energy fluxes. *Photosynthesis Research*, 79, 209–218.

43. Lanaras T., Moustakas M., Symeonidis L., Diamantoglou S. and Karatagliis S. (1993). Plant metal content, growth responses and some

photosynthetic measurements on field — cultivated wheat growing on ore bodies enriched in Cu. *Physiol. Plant*, 88, 307–314.

44. Lazarević B., Poljak M., Čosić T., Horvat T. and Karažija T. (2014). Evaluation of Soil and Plant Nitrogen Tests in Potato (*Solanum tuberosum* L.) Production. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 79(1), <https://hrcaak.srce.hr/120759>

45. Lichtenthaler H.K. and Babani F. (2004). Light Adaption and Senescence of the Photosynthetic Apparatus. Changes in Pigment Composition, Chlorophyll Fluorescence Parameters and Photosynthetic Activity. From Chapter 28, "Chlorophyll a Fluorescence a Signature of Photosynthesis", edited by George Papageorgiou and Govindjee, published by Springer 2004, PO Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands.

46. Lichtenthaler H.K. and Burkart S. (1999). Photosynthesis and high light stress. *Bulg. J. Plant Physiol.*, 25(3–4), 3–16

47. Linn A.v.I., Zeller A.v.K., Pfündel E. E. and Gerhards R. (2021). Features and applications of a field imaging chlorophyll fluorometer to measure stress in agricultural plants. *Precision Agric* 22, 947–963. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09767-7>

48. Lohaus G., Heldt H. and Osmond C. B. (2000). Infection with phloem limited Abutilon mosaic virus causes localized carbohydrate accumulation in leaves of *Abutilon striatum*: Relationships to symptom development and effects on chlorophyll fluorescence quenching during photosynthetic induction. *Plant Bioll.*, 2, 161–167.

49. Loriaux S.D., Burns R. A., Welles J. M., McDermitt D.K. and Genty B. (2006). Determination of maximal chlorophyll fluorescence using a multiphase single flash of sub-saturating intensity. Abstract No.P13011. August, 2006. American Society of Plant Biologists Annual Meetings, Boston, MA.

50. MacIntyre H.L., Sharkey T. D. and Geider R. (1997). Activation and deactivation of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco) in three marine microalgae. *Photosynthesis Research*, 51, 93–106.

51. MacIntyre H.L. and Geider R. J. (1996). Regulation of Rubisco activity and its potential effect on photosynthesis during mixing in a turbid estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 144, 247–264.

52. MacIntyre H.L., Geider R. J. and McKay R.M. (1996). Photosynthesis and regulation of Rubisco activity in net phytoplankton from Delaware Bay. *J. Phycol.*, 32, 718–732.

53. Major J.E., Mosseler A. and Malcolm J. W. (2023). Chlorophyll pigment and leaf macronutrient trait variation of four *Salix* species in elevated CO₂, under soil moisture stress and fertilization treatments. *Forests*, 14, 42. <https://doi.org/10.3390/f14010042>

54. Malinská H., Pidlisnyuk V., Nebeská D., Erol A., Medžová A. and Trögl J. (2020). Physiological response of *Miscanthus x giganteus* to plant growth regulators in nutritionally poor soil. *Plants*, 9(2): E194. DOI: 10.3390/plants9020194

55. Marsh B.H. (2014). Use of Chlorophyll Meters to Assess In-Season Wheat Nitrogen Fertilizer Requirements in the Southern San Joaquin Valley World Academy of Science, Engineering and Technology. *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*, 8(10).

56. Martos S., Gallego B., Sáez L., López-Alvarado J., Cabot C. and Poschenrieder C. (2016). Characterization of zinc and cadmium hyperaccumulation in three *Noccaea* (Brassicaceae) populations from non-metaliferous sites in the eastern Pyrenees. *Frontiers of Plant Science*, 7(128), doi:10.3389/fpls.2016.00128

57. Moradi F. and Ismail A. (2007). Responses of Photosynthesis, Chlorophyll Fluorescence and ROS-Scavenging Systems to Salt Stress During Seedling and Reproductive Stages in Rice. *Annals of Botany*, 99(6), 1161–1173

58. Moriles J., Hansen S., Horvath D. P., Reicks G., Clay D. E. and Clay S. A., (2012). Microarray and Growth Analyses Identify Differences and Similarities of Early Corn Response to Weeds, Shade, and Nitrogen Stress. *Weed Science of America*, 60(2), 158–166.

59. Muller P., Xiao-Ping L. and Niyogi K. (2001). Non-Photochemical Quenching. A Response to Excess Light Energy. *Plant Physiology*, 125, 1558–1556.

60. Nedbal L. and Whitmarsh J. (2004). Chlorophyll Fluorescence Imaging of Leaves and Fruits From Chapter 14, "Chlorophyll a Fluorescence a Signature of Photosynthesis", edited by George Papageorgiou and Govindjee, published by Springer 2004, PO Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands, pp. 389–407.

61. Nedbal L., Soukupova J., Whitmarsh J. and Trilek M. (2000). Post harvest imaging of chlorophyll fluorescence from lemons can be used to predict fruit quality. *Photosynthetica*, 38, 571–579.

62. Negash L., Kim H.-Y. and Choi H.-L. (2019). Emerging UAV Applications in Agriculture, » 2019 7th International Conference on Robot Intelligence Technology and Applications (RITA), Daejeon, Korea (South), pp. 254–257, doi: 10.1109/RITAPP.2019.8932853.

63. Netondo G., Onyango J. and Beck E. (2004). Sorghum and Salinity I. Response of Growth, Water Relations, and Ion Accumulation to NaCl Salinity. *Crop Science*, 44, 797–805.

64. Osmond C.B., Daley P., Badger M. and Lüttge U. (1998). Chlorophyll fluorescence quenching during photosynthetic induction in leaves of *Abutilon stratum* Dicks. Infected with *Abutilon mosaic virus*, observed with a field-portable imaging system. *Botanica Acta*, 111, 390–397.
65. Pereira W.E., Siqueira D. L., Martinez C.A. and Puiatti M. (2000). Gas exchange and chlorophyll fluorescence in four citrus root stocks under aluminum stress. *J. Plant Physiol.*, 157, 513–520.
66. Popovic R., Dewez D. and Juneau P. (2003). Applications of Chlorophyll Fluorescence in Ecotoxicology: Heavy Metals, Herbicides, and Air Pollutants. *Practical Applications of Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology*. pp 151–184.
67. Ralph P.J. and Gademann R. (2005). Rapid light curves: A powerful tool to assess photosynthetic activity. *Aquatic Botany*, 82, 222–237.
68. Rambo L., Ma B.-L., Xiong Y. and Regis Ferreira da Silva P. (2010). Leaf and canopy optical characteristics as crop-N-status indicators for field nitrogen management in corn. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 173: 434–443. <https://doi.org/10.1002/jpln.200900022>
69. Rascher U. (2000). Evaluation of instant light-response curves of chlorophyll fluorescence parameters obtained with a portable chlorophyll fluorometer on site in the field U. Rascher, M. Liebig & U. Lüttge *Plant, Cell and Environment*, 23, 1397–1405.
70. Repo T., Launiainen S., Lehto T., Sutinen S., Ruhanen H., Heiskanen J., Laurén A., Silvennoinen R., Vapaavuori E. and Finér L. (2016). The responses of Scots pine seedlings to waterlogging during the growing season. *Canadian Journal of Forest Research*, 46(12), 1439–1450. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2015-0447>
71. Ripley B.S., Redfern S. P. and Dames J. (2004). Quantification of photosynthetic performance of phosphorus –deficient Sorghum by means of chlorophyll-a fluorescence kinetics. *South African Journal of Science*, 100, 615–618.
72. Saberion M.M. and Soom M. A.M. (2014). A Review of Optical Methods for Assessing Nitrogen Contents during Rice Growth. *American Society of Agricultural and Biological Engineer*. <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=45074>
73. Scordia D., Papazoglou E. G., Kotoula D., Sanz M., Ciria C. S., Pérez J., Maliarenko O., Prisyazhniuk O., Cossel M., Greiner B. E., Lazdina D., Makovskis K., Lamy I., Ciadamidaro L., Petit-dit-Grezeriat L., Corinzia S. A., Fernando A. L., Alexopoulou E. and Cosentino S. L. (2022). Towards identifying industrial crop types and associated agronomies to improve biomass production from marginal lands in Europe. *GCB Bioenergy*. 00:1–25. DOI: 10.1111/gcbb.12935
74. Shmidts-Eiberger M., Haefs R. and Noga G. (2002). Enhancing biological efficacy and rain fastness of foliar applied calcium chloride solutions by addition of rapeseed oil surfactants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165(5), 634–639.
75. Sinfield J.V., Fagerman D. and Colic O. (2010). Evaluation of sensing technologies for on-the-go detection of macro-nutrients in cultivated soils. *Comput. Electron. Agric.* 70, 1–18.
76. Stark Z., Niemyska B., Bogdan J. and Tawalbeh R. N. (2000). Response of Tomato Plants to Chilling Stress in Association with Nutrient or Phosphorus Starvation. *Plant Soil*, 226, 99–106.
77. Steinhoff-Wrzesniewska A., Dabrowski P. Paszkiewicz-Jasińska A., Wróbel B., Strzelczyk M., Helis M. and Kalaji M. H. (2022). Studying the physiological reactions of C4 grasses in order to select them for cultivation on marginal lands. *Sustainability*, 14, 4512. doi.org/10.3390/su14084512
78. Strasser R.J., Tsimilli-Michael M. and Srivastava A. (2004). Analysis of Chlorophyll a Fluorescence Transient. From Chapter 12, "Chlorophyll a Fluorescence a Signature of Photosynthesis", edited by George Papageorgiou and Govindjee, published by Springer 2004, PO Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands, page 340.
79. Tang Y., Wen X., Lu Q., Yang Z., Cheng Z. and Lu C. (2007). Heat stress induces an aggregation of the light-harvesting complex of photosystem II in spinach plants. *Plant Physiology*, 143, 629–638.
80. Templer S.E., Ammon A., Pscheidt D., Ciobotea O., Schuy C., McCollum C., Sonnewald U., Hanemann A., Förster J., Ordon F., von Korff M. and Voll L. M. (2017). Metabolite profiling of barley flag leaves under drought and combined heat and drought stress reveals metabolic QTLs for metabolites associated with antioxidant defense. *Journal of Experimental Botany*, 68(7), 1697–1713. [doi:10.1093/jxb/erx038](https://doi.org/10.1093/jxb/erx038)
81. Thach L.B., Shapcott A., Schmidt S. and Critchley C. (2007). The OJIP fast fluorescence rise characterizes *Graptophyllum* species and their stress responses. *Photosynth. Res.*, 94, 423–436.
82. Tomaškin J., Tomaškinová J. and Theuma H. (2021). Chlorophyll fluorescence as a criterion for the diagnosis of abiotic environmental stress of *Miscanthus x giganteus* hybrid. *Pol. J. Environ. Stud.*, 30(4), 3269–3276. <https://doi.org/10.15244/pjoes/126874>
83. Torres-Dorante L., Paredes-Melesio R., Link A. and Lammel J. (2015). A methodology to develop algorithms that predict nitrogen fertilizer needs in maize based on chlorophyll measurements: a case study in Central Mexico. *The Journal of Agricultural Science*, 154(4), 705–719, [doi:10.1017/S002185961500074X](https://doi.org/10.1017/S002185961500074X)
84. Van Heerden P. D.R., De Beer M., Mellet D. J., Maphike H. S. and Foit W. (2007). Growth media effects on shoot physiology, nodule numbers and symbiotic nitrogen fixation in soybean. *South African Journal of Botany*, 73(4), 600–605. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2007.05.009>
85. Vredenberg W. (2011). Kinetic analyses and mathematical modeling of primary photochemical and photoelectrochemical processes in plant photosystems. *BioSystems*, 103, 138–151.
86. Weng X.-Y., Zheng C.-J., Xu H.-X. and Sun J.-Y. (2008). Characteristics of photosynthesis and functions of the water-water cycle in rice (*Oryza sativa*) leaves in response to potassium deficiency. *Physiologia Plantarum*, 131(4), 614–621.
87. Zangerl A.R., Hamilton J. G., Miller T. J., Crofts A. R., Oxborough K., Berenbaum M. R. and de Lucia E. H. (2002). Impact of folivory on photosynthesis is greater than the sum of its holes. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 99, 1088–1091.
88. Zhang Z., Wang L., Huang S., Xing L. and Wang L. (2010). Effect of cl- stress on photosynthetic, chlorophyll fluorescence characters and chloroplast ultra-structure of watermelon seedlings. [doi: 10.17660/ActaHortic.2010.871.51](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.871.51)
89. Živčák M., Brestič M., Olšovská K. and Slamka P. (2008). Performance index as a sensitive indicator of water stress in *Triticum aestivum*. *Plant Soil Environ.*, 54(4): 133–139.

АНОТАЦІЯ

УДК: 633.9:631.54

ЗАСТОСУВАННЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

ПРИСЯЖНИК О. І., МАЛЯРЕНКО О.А., КОНОНИК Н. О., ЧЕРНЯК М.О., ГОНЧАРУК О. М., МУСІЧ В.В.

Мета. Визначити можливість фотометра до встановлення рівня забезпеченості біоенергетичних культур. **Методи.** Польові дослідження виконували в умовах зони нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (с. Ксаверівка друга, Київська область) у 2022–2024 роках. **Результати.** Визначено що розрахунок показників флюоресценції хлорофілу є швидким і надійним способом ідентифікації широкого спектру видів стресу як у сільськогосподарських культур, так і в біоенергетичних. Однак, важливим питанням точної діагностики стану рослин залишається правильний підбір вимірюваних показників, оскільки широкий спектр параметрів вимірювань потребує додаткової кваліфікації. Досліджено, що за відсутності стресів у біоенергетичних культур стан фотосистеми доволі сильно (показник Fv/Fm) залежить від доступності рослинами макроелементів живлення, особливо азоту, що є біогенним елементом. При цьому між вмістом азоту в ґрунті та показниками фотосистеми рослин існує пряма дуже сильна кореляційна залежність ($r = 0,98$), а між вмістом фосфору в ґрунті та станом фотосистеми спостерігається зворотна значна кореляційна залежність ($r = -0,67$). Дослідження з визначення станів біоенергетичних рослин варто продовжити з використанням умов контрольованого клімату, як найбільш точного для виокремлення окремих станів — стресів від нестачі або надлишку факторів впливу (погодних умов, елементів живлення, тощо).

Ключові слова: біопаливо, міскантус гігантський, просо прутуподібне, тополя чорна, верба

ABSTRACT

UDC: 633.9:631.54

APPLICATION OF SPECTROPHOTOMETERS FOR DETERMINING THE CONDITION OF BIOENERGY CROPS

O. Prisyazhniuk, O. Maliarenko, N. Kononiuk, M. Cherniak, O. Honcharuk, V. Musich,

Purpose. To assess the potential of spectrophotometers for determining the nutrient status of bioenergy crops. **Methods.** Field research was conducted under conditions of unstable moisture in the Right-Bank Forest-Steppe zone of Ukraine at the experimental field of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (Ksaverivka Druha village, Kyiv region) during 2022–2024. **Results.** It was determined that calculating chlorophyll fluorescence indicators is a fast and reliable method for identifying a wide range of stress conditions in both agricultural and bioenergy crops. However, accurate diagnosis of plant condition depends heavily on the proper selection of measurable indicators, as the broad range of parameters requires additional expertise. The study showed that in the absence of stress factors, the condition of the photosystem in bioenergy crops (as indicated by Fv/Fm) strongly depends on the availability of macronutrients, especially nitrogen, which is a key biogenic element. A very strong positive correlation was found between soil nitrogen content and photosystem parameters ($r = 0.98$), while a significant inverse correlation was observed between phosphorus content in the soil and the photosystem condition ($r = -0.67$). Further research on assessing the condition of bioenergy crops is recommended under controlled climate conditions, which provide the most accurate environment for isolating specific stress factors such as nutrient deficiency or excess, and climatic influences.

Keywords: biofuel, giant miscanthus, switchgrass, black poplar, willow

ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЯКОСТІ ТОПОЛІ ЧОРНОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ВІКУ ПЛАНТАЦІЇ

І.І. БОЙКО,

кандидат сільськогосподарських наук,
с.н.с.

В. І. ВОЙТОВСЬКА,

кандидат сільськогосподарських наук,
с.д.

І.Р. ФУНІНА,

старший науковий співробітник
Інститут біоенергетичних культур і
цукрових буряків

Вступ. Осокір або тополя чорна поширена майже в усіх екосистемах. Сьогодні її ареал розповсюдження й у Центральній та Південній Європі, Західній Азії та Північній Африці. Здебільшого дерево росте групами, а в бореальних лісах і долинах річок утворює великі лісові масиви. Із збільшенням зацікавленості охорони лісових насаджень та створення швидкоростучих плантацій, тополя чорна набуває важливого значення [1,2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У різних країнах для енергетичних цілей є великий досвід вирощування тополі, зокрема й у Швеції та Польщі, де значну увагу зосереджено на отриманні гібридних рослин із високою швидкістю росту та цінних за біохімічним складом. Як вказують ряд авторів, у світовому досвіді на прикладі Швейцарії врожайність тополі коливається у межах 5,9 до 13,2 т сухої деревини з га в рік. Велику увагу науковцями приділено агротехнічним заходам та теплотворній здатності, як становить здебільшого 18 МДж / кг [3,4].

Українські науковці вказують, що тополя чорна та верба є не тільки цінними для біоенергетичних цілей, але й для відновлення лісозахисних насаджень. Слід відмітити, що Волинська область в Україні є лідером із вирощування та створення плантацій швидкорослих рослин і дерев, зокрема, тополі чорної.

Для виробництва та отримання енергетичного потенціалу, ця область використовує міні ТЕС, на яких переробляють деревину в енергію.

Важливо зазначити, що для закладання плантації зі швидкорослих біоенергетичних дерев обирають місця

непридатні для вирощування сільськогосподарських культур [5].

Дослідження в Західній Литві із швидкорослими деревами (верба й тополя чорна) на природно-кислій морені вказують, що для підвищення продуктивності доцільно вносити азотні добрива, які суттєво збільшують кількість стебел, продуктивність та покращують біохімічний склад у досліджуваних зразків рослин. Так, урожай сухої речовини в чорній тополі становив 42,28 та 54,24 т га-1.

Важливим після збору й подрібнення дерева є його спалювання в котлах великої та середньої потужності, обладнаних топковими пристроями, придатними для спалювання вологої подрібненої деревної рослинності. Встановлено, що є істотний вплив сортових особливостей біоенергетичних рослин на теплотворний потенціал [6,7].

Вирощування тополі (*Populus* sp. L.) у Південному Степу України дозволяє відмітити, що із густотою 4–6 тис. шт./га стиглість настає в 5-річному віці, а запас буде на рівні 80–85 м³/га, при зрізанні рослин у 10 річному віці можна буде отримати запас 445–670 м³/га. Регулюючи густоту можна змінювати не тільки товарні показники, але й продуктивність деревини [8].

Важливо не тільки враховувати продуктивність насаджень, але й тривалість його вегетації.

Дослідженнями науковців відміче-

но, що рослини у коротких ротаціях ростуть тонкі та з низькими показниками біохімічної якості [9,10].

У дослідях із порівняння продуктивності 6 гібридних тополь і 3 диких річкових генотипів *Populus nigra* за три роки росту й розвитку, відмічено, що α є вищими у гібридних генотипів порівняно з дикорослими чорними тополями (α≥2,0 та α≤2,0, відповідно). Значення параметра форми β призводило до зменшення з часом у гібридних генотипів та збільшенню у дикорослих форм від 1,42 до 2,38 і від 1,47 до 2,03 [13,14].

Отримати цінну сировину для біоенергетичних цілей та сформувати захисні насадження, які дозволять покращити екологічні умови, дуже важливо. Тому сьогодні постає питання створення насаджень швидкорослих біоенергетичних дерев, які дозволять отримати високу продуктивність із покращеними технологічними якість. Як вказують Роїк М. В. і Я. Д. Фучило, поряд із відновленням захисних та швидкорослих насаджень, можливо отримати понад 54,6 млн. т деревини для енергетичних потреб [15].

Мета статті — дослідити вплив віку плантації на формування продуктивності та якісних показників сировини рослин тополі чорної, що забезпечує максимальну врожайність надземної маси.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводили впродовж 2018–2022 рр. в умовах де-

Таблиця 1.

Вміст сухої речовини та золи в листках та стеблах тополі чорної залежно від віку плантацій, %

Тополь Чорна	Суша речовина, %						Зола, %					
	в листках			в стеблах			в листках			в стеблах		
	1.06	1.07	1.08	1.06	1.07	1.08	1.06	1.07	1.08	1.06	1.07	1.08
2018 р. Посадки	34,1	40,3	48,7	48,5	56,4	65,2	4,5	5,2	7,0	2,0	2,5	2,5
2019 р. Посадки	40,2	44,8	46,3	49,1	54,3	66,4	4,4	4,9	8,0	1,9	2,0	2,2
2020 р. посадки	42,3	44,9	45,0	47,3	55,9	64,8	4,5	5,0	8,2	1,7	1,8	1,9
НІР05	0,6	0,3	0,5	0,4	0,3	0,7	0,1	0,3	0,2	0,4	0,5	0,9

Таблиця 2.

Накопичення целюлози та геміцелюлози в листках та стеблах тополі чорної залежно від віку плантацій, %

Тополя Чорна	Целюлоза, %						Геміцелюлоза, %					
	в листках			в стеблах			в листках			в стеблах		
	1.06	1.07	1.08	1.06	1.07	1.08	1.06	1.07	1.08	1.06	1.07	1.08
2018 р. Посадки	28,20	3,95	36,61	45,67	47,20	50,10	5,8	6,0	7,2	11,10	11,40	11,45
2019 р. Посадки	27,10	30,33	34,21	42,20	44,85	46,50	6,6	6,0	6,4	10,50	11,10	11,30
2020 р. посадки	26,25	32,40	34,00	42,05	43,15	45,25	5,5	5,9	6,1	10,10	11,15	11,25
НіР05	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	0,4	0,3	0,6	0,2	0,3	0,2

монстраційного поля в с. Ксаверівка Васильківського району Київської області. Характеризуючи ґрунти демонстраційного поля в с. Ксаверівка, зазначимо, що це чорноземи типові з малою гумусом середньо-суглинкові з вмістом гумусу в шарі ґрунту 0–30 см — 3,0–3,5%, рухомого фосфору 170–180 мг/кг та обмінного калію 50–60 мг/кг ґрунту (за Чиріковим).

Схема дослідження передбачала дослідження впливу віку плантацій тополі чорної на показники елементного та біохімічного складу, що, в свою чергу, формують продуктивний та біоенергетичний потенціал цієї культури.

Збирання біомаси проводилось протягом вегетаційного періоду, було проаналізовано листки та стебла рослин тополі чорної на вміст сухої речовини, зольних елементів, складових клітинної оболонки, а саме — вміст целюлози, геміцелюлози та лігніну, а також визначалась кількість мікро та макроелементів. Дослідження проводились згідно існуючих методик визначення показників якості біомаси [16–19].

Результати досліджень. Одним із основних якісних показників сировини тополі чорної є вміст сухої речовини. В процесі вегетації цей показник суттєво змінювався. На початку вегетації вміст сухої речовини в листках тополі коливався від 34,1% (рослини 2018 року посадки) до 42,3% (2020 рік посадки). В липні місяці кількість сухих речовин збільшувалась і складала від 40,3% до 44,9% (2018 і 2020 рр.). У період активної вегетації найбільший вміст сухих речовин в листках мали рослини 2018 року посадки, а саме — 48,7%, найменший вміст — 45,0% — мали рослини 2020 року посадки.

Стебла досліджуваних рослин на початку вегетаційного періоду накопичували в своєму складі від 47,3 до 49,1% сухих речовин, а максимальних значень вмісту цього показника рослини забезпечували в кінці вегетації, а саме — від 64,8 до 66,4%.

Кількість зольних елементів у стеблах тополі на початку вегетації складала від 1,7% до 2,0%, далі цей показ-

ник змінювався й був від 1,8 до 2,5%, а в кінці вегетації — від 1,9 до 2,5% (табл. 1).

Вміст зольних елементів в листках тополі чорної на початку вегетації коливався від 4,4% до 4,5%, в середині вегетації цей показник збільшувався від 4,9% до 5,2%, а в кінці вегетації, в серпні, рослини тополі чорної накопичували від 7,0% (2018 рік посадки) до 8,2% (2020 рік посадки). Окрім листків тополі було проаналізовано й стебла на вміст зольних елементів.

Вивчення елементного та біохімічного складу біоенергетичних культур неможливе без знання складових клітинної оболонки.

Накопичення целюлози в листках рослин тополі чорної відбувається наступним чином. Найбільша кількість целюлози на початку вегетації в листках тополі 2018 року посадки — 28,20%, найменша кількість на початку вегетації — 26,25% — в листках рослин тополі 2020 року посадки. В середині вегетації листки тополі накопичували від 32,40% до 33,95%, в кінці вегетації — найбільша кількість целюлози відмічена в листках тополі 2018 року посадки, а саме — 36,61%, найменша — 34,00% — в листках тополі 2020 року посадки.

Вміст геміцелюлози в листках тополі на початку вегетаційного періоду був від 5,5 до 5,8%, в кінці вегетації листя накопичували від 6,1% (2020 рік) до 7,2% (2018 рік) (табл. 2).

Вміст целюлози в стеблах рослин біоенергетичних культур розподіляв-

ся наступним чином: в стеблах тополі в червні кількість складала від 42,05% (стебла тополі 2020 року посадки) до 40,05% (рослини 2020 року посадки). В липні він коливався від 43,15% до 47,20%, а в серпні — збільшувався й складав 45,25% (рослини 2020 року посадки) до 50,10% (2018 рік посадки). Показник геміцелюлози в стеблах рослин тополі на початку збільшувався від 10,10% (2020 рік посадки) до 11,10% (2018 рік посадки). В подальшому вміст геміцелюлози збільшувався й досягав значень 11,45% в кінці вегетаційного періоду в рослинах тополі 2018 року посадки.

Кількість целюлози й геміцелюлози в стеблах досліджуваних рослин була вищою, ніж в листках.

Накопичення лігніну в рослинах біоенергетичних культур відбувалось за такою ж схемою, як і накопичення целюлози й геміцелюлози: більше лігніну міститься в стеблах, менша — в листках рослин.

Кількість лігніну на початку вегетаційного періоду в листках тополі була від 8,60% (2020 рік посадки) до 8,80% (2018 рік посадки). В подальшому кількість лігніну в листках тополі збільшувалась і в кінці вегетації в серпні складала 10,10% у рослин тополі 2020 року посадки, 10,12% (2019 рік посадки) і 10,30% у рослин 2018 року посадки.

Аналізуючи стебла рослин тополі на вміст лігніну зазначимо, що рослини тополі на початку вегетації містять лігнін від 14,55% (2020 рік посадки) до 11,85% (2018 рік посадки), в кінці веге-

Таблиця 3.

Динаміка накопичення лігніну в листках і стеблах тополі чорної залежно від віку плантацій, %

Тополя Чорна	Лігнін, %					
	в листках			в стеблах		
	1.06	1.07	1.08	1.06	1.07	1.08
2018 р. Посадки	8,80	9,25	10,30	14,85	15,10	15,20
2019 р. Посадки	8,65	9,20	10,12	14,80	15,05	15,10
2020 р. посадки	8,60	9,15	10,10	14,55	14,85	15,05
НіР05	0,3	0,2	0,2	0,1	0,4	0,2

Таблиця 4.

Хімічний склад тополі чорної залежно від віку плантацій, % від сухої речовини

Тополя чорна	Листя, % на суху речовину		
	N	P	K
2018 р. посадки	0,70	0,56	0,85
2019 р. посадки	0,65	0,55	0,80
2020 р. посадки	0,65	0,55	0,75
Тополя чорна	Стебло, % на суху речовину		
	N	P	K
2018 р. посадки	0,50	0,50	0,95
2019 р. посадки	0,48	0,49	0,91
2020 р. посадки	0,47	0,48	0,90
HiPO,05	0,7	0,4	0,5

тації стебла тополі містять таку кількість лігніну: від 15,05% (2020 рік посадки) до 15,20% (2018 рік посадки) (табл. 3).

У досліджуваних рослин були проаналізовані зразки тополі чорної на вміст макроелементів, а саме — азоту і фосфору та калію.

Найбільша кількість азоту в кінці вегетації в листках тополі була в рослин 2018 року посадки — 0,70%, а найменший — 0,63% — в рослинах 2020 року посадки (табл. 4).

Вміст фосфору в листках тополі чорної складав 0,53% (тополя чорна 2020 рік), 0,55% (2019 рік посадки) та 0,56% (2018 рік посадки).

Калій в листках тополі накопичувався від 0,75% (2020 рік посадки), 0,80% (2019 рік посадки) та 0,85% (2018 рік посадки).

Досліджуючи вміст макроелементів в стеблах рослин тополі, можна сказати, що їх кількість більша в стеблах, а менша — в листках. Так вміст азоту

в стеблах тополі знаходився від 0,47% до 0,50%.

Кількість фосфору в стеблах тополі чорної складав від 0,48% до 0,50%.

Накопичення калію відбувалось наступним чином: в стеблах рослин тополі чорної його кількість була від 0,90% (2020 рік) до 0,95% (2018 рік).

Оскільки досліджувана енергетична культура буде використовуватись для отримання твердих біопалив, доцільно було б визначити хімічні елементи, які впливають на паливні властивості, а саме: вуглець, водень, кисень, хлор та сірка.

Встановлено, що досліджувані зразки культури в своєму складі містять невелику кількість хлору та сірки.

Характеризуючи накопичення хлору в листках рослин тополі чорної відмітимо, що більша кількість міститься в листках, менша — в стеблах рослин. Так кількість хлору в листках тополі складає 0,020% (2018 рік посадки) та 0,019

і 0,018%% (2019 та 2020 роки посадки).

В стеблах досліджуваних зразків кількість хлору була наступна: тополя накопичила в стеблах 0,018% хлору, а у листках — 0,020% (рік посадки 2018р), у 2019 року — 0,018% і 0,019%, у 2020 року отримано показники 0,018% і 0,017%.

Накопичення рослинами сірки в листках біоенергетичних культур проходило відповідно: листки тополі накопичили в своєму складі від 0,09% (рослини 2020 року посадки) до 0,10% (посадка 2018 року).

В стеблах тополі розподіл мікроелементів проходив відповідно: тополя накопичила від 0,07% до 0,09% (табл. 5).

Висновки. Вміст сухої речовини в листках тополі чорної був вищим, ніж в стеблах, та, як в листках, так і в стеблах, не залежав від віку плантацій.

Кількість зольних елементів в листках була вищою в порівнянні зі стеблами, більше золи відмічено в рослинах із більшим строком вегетації.

Накопичення в листках тополі целюлози й геміцелюлози проходило наступним чином — більша кількість целюлози спостерігається в листках рослин із більшим строком вегетації.

Кількість целюлози й геміцелюлози в стеблах тополі чорної була більшою в порівнянні з листками, а кількість целюлози та геміцелюлози збільшувалась залежно від віку плантацій.

Динаміка накопичення лігніну в листках і стеблах відбувалась аналогічно накопиченню целюлози та геміцелюлози, більше — в рослин із більшим терміном вегетації.

Аналізуючи накопичення азоту, фосфору й калію листками та стеблами рослин відмітимо, що більша кількість азоту й фосфору була в рослин з більшим строком вегетації. Збільшення накопичення азоту, фосфору та калію в листках і стеблах відбувається поступово протягом вегетації й досягає максимальних значень у серпні.

Накопичення хлору й сірки листками та стеблами тополі чорної відбувалось аналогічно накопиченню макроелементів, а саме: більша кількість відмічена в листках, менша — в стеблах; і більша кількість хлору й сірки відмічена в рослин з більшим строком вегетації.

Таблиця 5.

Вміст мікроелементів в рослинах тополі чорної залежно від віку плантацій (% до маси сухої речовини)

Тополя чорна	Частина рослини	Хлор	Сірка
2018 р. посадки	листя	0,020	0,10
	стебло	0,018	0,09
2019 р. посадки	листя	0,019	0,09
	стебло	0,018	0,07
2020 р. посадки	листя	0,018	0,09
	стебло	0,017	0,06
HiPO,05		0,5	0,3

ЛІТЕРАТУРА:

- Висоцька, Н. Ю. «Лісотипологічна структура та продуктивність деревостанів тополі чорної в різних природно-кліматичних зонах рівнинної частини України.» Лісівництво і агролісомеліорація 131 (2017): 11–22.
- Jasinskas, A., Banioniene, V., Jotautiene, E., & Ziemelis, I. Investigation of black poplar (*Populus nigra* L.) preparation and utilization for energy conversion. In Engineering for Rural Development. Proceedings of the International Scientific Conference (Latvia). 2019, October. (No. 18). Latvia University of Life Sciences and Technologies.

3. Дьяконов, О. В., С. Ф. Халін. «Світовий досвід створення штучних плантацій швидкоростучих рослин». Актуальні питання охорони праці у контексті сталого розвитку та європейської інтеграції України. 181.

4. Bytner, O., Laskowska, A., Drożdżek, M., Kozakiewicz, P., Zawadzki, J. Evaluation of the dimensional stability of black poplar wood modified thermally in nitrogen atmosphere. Materials, 2021. 14(6), 1491.

5. Маурер, В. М., and I. С. Шилін. «Сучасний стан та шляхи інтенсифікації плантаційного лісовирощування тополі на Волині.» Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористу-

вання України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво 198 (2). 2014: 137–143.

6. Šiaudinis, Gintaras, et al. «The effect of liming and nitrogen application on common osier and black poplar biomass productivity and determination of biofuel quality indicators.» *Renewable energy* 152. 2020.: 1035–1040.

7. Salehi, A., M. Calagari, and F. Ahmadloo. «Effect of soil and water affected by municipal effluent on performance one-year-old plants of three black poplar (*Populus nigra* L.) clones.» 2021: fa114-fa127.

8. Fuchylo, Yaroslav, et al. «Досвід та перспективи вирощування тополі (*Populus* sp. L.) у Південному Степу України.» *Наукові праці Лісівничої академії наук України* 7. 2009: 66–69.

9. Ішук Л. П. До проблеми збереження вікових тополь. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво*. 2015. № . 229. С. 250–259.

10. Walter M., Brzozowski B., Adamczak M. Effect of supercritical extract from black poplar and basket willow on the quality of natural and probiotic drinkable yogurt. *Animals*. 2021. T. 11. № . 10. С. 2997.

11. Висоцька Н. Ю., Ткач В. П. Деревостани тополі та осики в Україні. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2016. № . 128. С. 20–27.

12. Войтовська В. І., Бойко І. І. Формування технологічної якості тополі чорної залежно від тривалості вегетації. Тези доповідей Міжнародної наукової інтернет-конференції «Інноваційні зернопродукти і технології», 20 лютого 2024 р. / Редкол.: Нepochatenko O. O. (відп. ред.) та ін. Умань, 2024. С. 25

13. cSaulino, L., Allevato, E., Todaro, L., Rossi, S., Bonanomi, G., & Saracino, A. (2019). Comparative study of hybrid and wild black poplar genotypes in the first three-year cycle of multi-stem short-rotation coppice. *Biomass and bioenergy*, 122, 17–27.

14. Manzone M. Energy and moisture losses during poplar and black locust logwood storage. *Fuel Processing Technology*. 2015. T. 138. С. 194–201.

15. Роїк, М. В. і Я. Д. Фуцило and О. М. Ганженко. «Теоретичні та прикладні аспекти використання агролісомеліоративних насаджень України в енергетичних цілях.» *Біоенергетика* 1 (2021): 5–8.

16. Методика кваліфікаційної (технічної) експертизи сортів рослин з визначення показників придатності до поширення в Україні. Випуск перший. Загальна частина (видання третє, виправлене і доповнене). К.: ТОВ «Алефа», 2011. 104 с.

17. Методика проведення експертизи сортів рослин групи декоративних на відмінність, однорідність і стабільність (1125 с.) <https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f1cfd2b89c.pdf>

18. Методика проведення експертизи сортів рослин групи декоративних, лікарських та ефіроолійних, лісових на придатність до поширення в Україні (128 с.) <https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f417dd0990.pdf>

19. Войтовська В. І., Бойко І. І., Кононенко Л. М., Євчук Я. В. та ін. Удосконалення методів визначення вмісту сирової золи та органічних кислот в рослинах (науково-методичні рекомендації). Методичні рекомендації. Візаві. Умань: 2020.30 с.

REFERENCES

1. Vysotska, N. Yu. (2017). «Lisotypolohichna struktura ta produktyvnist derevostaniv topoli chornoj v riznykh pryrodno-klimatychnykh zonakh rivnynoi chastyi Ukrainy.» *Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiia* 131: 11–22.

2. Jasinskas, A., Banioniene, V., Jotautiene, E., & Ziemelis, I. (2019, October). Investigation of black poplar (*Populus nigra* L.) preparation and utilization for energy conversion. In *Engineering for Rural Development. Proceedings of the International Scientific Conference (Latvia) (No. 18)*. Latvia University of Life Sciences and Technologies.

3. Diakonov, O. V., and S. F. Khalin. «Svitovyi dosvid stvorennia shchynnykh plantatsii shvydkorostuchykh roslyn». Aktualni pyttannia okhorony pratsi u konteksti staloho rozvytku ta yevropeiskoi intehtatsii Ukrainy. 181.

4. Bytner, O., Laskowska, A., Drożdżek, M., Kozakiewicz, P., & Zawadzki, J. (2021). Evaluation of the dimensional stability of black poplar wood modified thermally in nitrogen atmosphere. *Materials*, 14(6), 1491.

5. Maurer, V. M., and I. S. Shylin. (2014). «Suchasnyi stan ta shliakhy intensyfikatsii plantatsiinoho lisovyvroschuvannia topoli na Volyni.» *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seria: Lisivnytstvo ta dekorativne sadivnytstvo* 198 (2): 137–143.

6. Šiaudinis, Gintaras, et al. (2020): «The effect of liming and nitrogen application on common osier and black poplar biomass productivity and determination of biofuel quality indicators.» *Renewable energy* 152. 1035–1040.

7. Salehi, A., M. Calagari, and F. Ahmadloo. (2021). «Effect of soil and water affected by municipal effluent on performance one-year-old plants of three black poplar (*Populus nigra* L.) clones.» fa114-fa127.

8. Fuchylo, Yaroslav, et al. (2009). «Dosvid ta perspektyvy vyrovshchuvannia topoli (*Populus* sp. L.) u Pivdennomu Stepu Ukrainy.» *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy* 7: 66–69.

9. Ishchuk L. P. (2015). Do problemy zberezhenia vikovykh

topol. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seria: Lisivnytstvo ta dekorativne sadivnytstvo*. № . 229. S. 250–259.

10. Walter M., Brzozowski B., Adamczak M. (2021). Effect of supercritical extract from black poplar and basket willow on the quality of natural and probiotic drinkable yogurt. *Animals*. T. 11. № . 10. S. 2997.

11. Vysotska N. Yu., Tkach V. P. (2016). .Derevostany topoli ta osyky v Ukraini. *Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiia*. № . 128. S. 20–27.

12. Voitovska V. I., Boiko I. I. (2024). Formuvannia tekhnolohichnoi yakosti topoli chornoj zalezno vid trvalosti vehetatsii. Tezy dopovidei Mizhnarodnoi naukovoї internet-konferentsii «Innovatsiini zernoproducty i tekhnolohii», 20 liutoho 2024 r. / Redkol.: Nepochatenko O. O. (vidp. red.) ta in. Uman, S.25

13. sSaulino, L., Allevato, E., Todaro, L., Rossi, S., Bonanomi, G., & Saracino, A. (2019). Comparative study of hybrid and wild black poplar genotypes in the first three-year cycle of multi-stem short-rotation coppice. *Biomass and bioenergy*, 122, 17–27.

14. Manzone M. (2015). Energy and moisture losses during poplar and black locust logwood storage. *Fuel Processing Technology*. T. 138. S. 194–201.

15. Roik, M. V. i Ya. D. Fuchylo and O. M. Hanzhenko. (2021). «Teoretychni ta prykladni aspekty vykorystannia ahrolisomeliorativnykh nasadzen Ukrainy v enerhetychnykh tsiliakh.» *Bioenerhetyka* 1: 5–8.

16. Metodyka kvalifikatsiinoi (tekhnichnoi) ekspertyzy sortiv roslyn z vyznachennia pokaznykiv prydatnosti do poshyrennia v Ukraini. Vypusk pershyi. (2011). Zahalna chastyna (vydannia tretie, vypravlene i dopovnene). K.: TOV «Alefa», 104 s.

17. Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv roslyn hrupy dekorativnykh na vidminnist, odnorodnist i stabilnist (1125 s.) <https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f1cfd2b89c.pdf>

18. Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv roslyn hrupy dekorativnykh, likarskykh ta efirooliinykh, lisovykh na prydatnost do poshyrennia v Ukraini (128 s.) <https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f417dd0990.pdf>

19. Voitovska V. I., Boiko I. I., Kononenko L. M., Yevchuk Ya. V. ta in. (2020). Udoshkonalennia metodiv vyznachennia vmistu syroi zoly ta orhanichnykh kyslot v roslynakh (naukovo-metodychni rekomendatsii). *Metodychni rekomendatsii. Vizavi. Uman*:30 s.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.1

ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЯКОСТІ ТОПОЛІ ЧОРНОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ВІКУ ПЛАНТАЦІЇ

І.І. БОЙКО, В.І. ВОЙТОВСЬКА, І.Р. ФУНІНА,

У статті представлені результати досліджень впливу віку плантації на формування продуктивності та технологічної якості тополі чорної.

Досліджено сировину з біомаси тополі чорної за технологічними якостями, які складають комплекс їх біологічних, хімічних і фізичних властивостей, які є визначальними в технологічному процесі перероблення та спалювання.

На основі досліджень проведено оцінку основних продуктивних показників надземних органів рослин тополі чорної, залежно від віку плантації, а саме — вмісту сухої речовини та золи, накопиченню целюлози, геміцелюлози та лігніну та показників елементного складу сировини.

Особлива увага приділена накопиченню показників технологічної якості сировини залежно від періоду вегетації.

Ключові слова: вік плантацій, суха речовина, зола, целюлоза, геміцелюлоза, лігнін, мікро та макроелементи.

ABSTRACT

UDC621.1

FORMATION OF PRODUCTIVITY AND TECHNOLOGICAL QUALITY OF BLACK POPLAR DEPENDING ON THE AGE OF THE PLANTATION

I.I. BOYKO,

V.I. VOITOVSKA,

I.R. FUNINA

The article presents the results of studies on the impact of plantation age on the formation of productivity and technological quality of black poplar.

The raw materials derived from black poplar biomass were studied in terms of their technological qualities, which encompass a complex of biological, chemical, and physical properties that are critical in the technological processes of processing and combustion.

Based on the research, an assessment was conducted of the main productivity indicators of the aboveground parts of black poplar plants, depending on the plantation age. These indicators include dry matter and ash content, accumulation of cellulose, hemicellulose, and lignin, as well as elemental composition characteristics of the raw material.

Special attention was given to the accumulation of technological quality indicators of the raw material depending on the vegetation period.

Key words: accumulation dynamics, dry matter, ash, cellulose, hemicellulose, lignin.

УДК: 575.827.633.11 <https://doi.org/10.47414/be.2025.No1.pp.27-31>

УРОЖАЙНІСТЬ І ЯКІСТЬ НАСІННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ПОПЕРЕДНИКІВ

ПОЛІЩУК В. В. —

д. с.-г. н., професор, декан факультету
лісового і садово-паркового
господарства. E-mail: valentyn7613@
gmail.com ORCID: 0000-0001-8157-7028

ПРИТУЛА Ю. М. —

аспірант; Уманський національний
університет садівництва

Вступ. Пшениця озима була й залишається провідною культурою в Україні, альтернативи їй немає [1]. Тому пріоритетним напрямом розвитку сільського господарства є збільшення обсягів виробництва зерна, що забезпечує гарантією продовольчої безпеки держави. А це можливе за рахунок впровадження нових високопродуктивних сортів та удосконалення елементів технології, що сприяє підвищенню врожайності й якості зерна культури [2], це є ефективним способом реалізації генетичного потенціалу пшениці озимої [3].

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Завершальним етапом складного процесу онтогенезу рослин, який відображає ефективність застосованих агрозаходів за вирощування пшениці озимої впродовж вегетації є її врожайність.

В умовах центрального Лісостепу найбільшу врожайність пшениці озимої за оптимального строку сівби (третьа декада вересня) забезпечують попередники: сидеральний пар — 7,07 т/га, біла гірчиця — 5,89 т/га та соя — 6,73 т/га; після кукурудзи та соняшнику врожайність була нижчою й становила, відповідно, 5,87 та 5,69 т/га. Попередник кукурудза сприяв більшим показникам енергії проростання — 96,2% та лабораторної схожості — 96,8%, водночас як маса 1000 насінин була нижчою, ніж після попередників кукурудзи (40,4 г) та соняшнику (41,0 г) — 39,2 г [4]. У дослідженнях Бузинного М. В. найвищу врожайність насіння пшениці озимої отримано після гороху та сидерального пару (вика яра +гірчиця), відповідно — 4,48 т/га та 4,25 т/га [5].

В умовах Степу найбільша врожайність — 6,4 т/га була отримана, де пшеницю сіяли по чорному пару 5 жовтня з нормою висіву 6,0 млн. схожих насінин/га. По інших попередниках (со-

няшнику та ячменю ярому) більшу врожайність забезпечили посіви при сівбі 25 вересня цією ж нормою. Після ячменю ярого отримали 4,55 т/га, після соняшнику — 3,97 т/га зерна, що було менше порівняно з чорним паром, відповідно, на 1,85 та 2,43 т/га [6]. В умовах північного Степу найбільша продуктивність сортів пшениці озимої після ячменю ярого формувалася у вологому 2014 р., яка становила в середньому по сортах 5,19 т/га. Максимальну врожайність у цьому році відмічали в сорту “Розкішна” (5,66 т/га) [7]. Багато вчених вважає, що ріпак на рівні з соняшником є найгіршими попередниками для пшениці озимої. Вони стверджують, що ріпак найбільше виснажує ґрунт на поживні речовини та висушує його, через що погіршується його структура, а це

призводить до зниження продуктивності культур, які вирощуватимуться після нього [8]. Але українські та закордонні дослідники вважають, що коренева система ріпака озимого поліпшує структуру ґрунту, залишаючи значну частину кореневих решток, які згубно діють на кореневі гнилі [9,10].

Метою досліджень є встановлення особливостей формування врожайності й якості насіння пшениці озимої залежно від генотипу та попередників в умовах Правобережного Лісостепу.

Матеріали і методика дослідження. Дослідження з впливу генотипу, попередників та умов вирощування на формування врожайності й якості насіння пшениці озимої проводили в умовах приватного сільськогосподарського підприємства «Еліт» упродовж 2022–

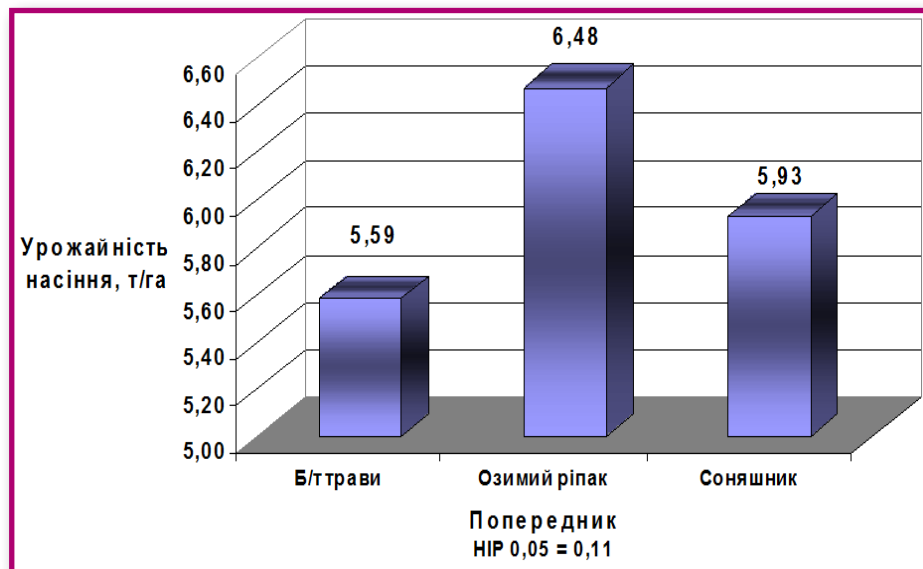


Рис. 1. Урожайність насіння залежно від попередників (середнє по сортах за 2022-2024 рр.)

Таблиця 1.

Урожайність насіння залежно від сортових особливостей і попередників (середнє за 2022-2024 рр.)

Попередник	Сорт		
	Мулан	Шестопалівка	Оранта одеська
Багаторічні трави	4,62	6,09	6,05
Озимий ріпак	5,85	6,86	6,72
Соняшник	5,11	6,34	6,36
НІР 0,05 заг.	0,17		
НІР 0,05 сорт, попередник	0,11		

2024 рр., яке розміщене в зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України. Оскільки багато вчених вважає, що ріпак на рівні з соняшником є найгіршими попередниками для пшениці озимої [8], ми включили в схему саме ці два попередники та бобову культуру багаторічні трави (люцерну після другого укосу). Досліди проводили з трьома сортами різного походження та різних груп стиглості: середньосраннього “Мулан”, німецької селекції, та сортів української селекції середньостиглого “Оранта одеська” й ранньостиглого “Шестопалівка” за сівби на трьох попередниках: багаторічні трави після другого укосу, озимий ріпак та соняшник. Урожайність насіння обліковували ваговим методом із визначенням вологості під час збирання та перерахунком на стандартну 14-ти процентну вологість. Якість насіння — енергію проростання, схожість та масу 1000 насінин — визначали за чинним ДСТУ [11]. Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали кореляційно-регресійним та дисперсійним аналізами за методом Фішера [12] з використанням комп’ютерної методичних рекомендацій [13].

Ґрунт — чорнозем сильно регрований, вміст гумусу — 3,5%, гідролітична кислотність — 2,9, рН сольовий — 5,1. Вміст рухомих форм фосфору — 250, обмінного калію — 190 мг/кг ґрунту за Кірсановим, азоту, що гідролізується — за Тюрином, 63 мг/кг ґрунту.

Результати дослідження. Вплив попередників на формування елементів структури врожаю забезпечило підвищення врожайності насіння пшениці озимої (рис. 1).

У середньому по сортах найвищу врожайність — 6,48 т/га отримано за сівби пшениці озимої після озимого ріпака. За сівби після соняшника врожайність насіння була достовірно нижчою, ніж після озимого ріпака, але значно вищою, порівняно з сівбою після багаторічних трав. Аналогічну залежність з урожайності насіння отримано в розрізі сортів. За сівби по озимому ріпаку врожайність всіх сортів була значно більшою, ніж за сівби по соняшнику та багаторічних травах (табл. 1).

Достовірно вищу врожайність насіння пшениці озимої забезпечив ранньостиглий сорт “Шестопалівка” по всіх попередниках, порівняно з середньостиглими сортами як німецької селекції “Мулан”, так і української селекції “Оранта одеська”. Найкращим попередником для всіх сортів виявився озимий ріпак, а найгіршим — багаторічні трави. Достовірної різниці з урожайно-

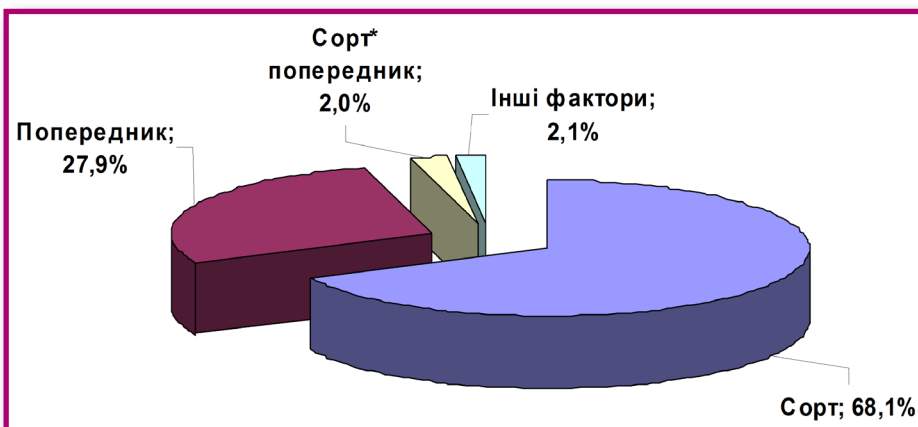


Рис. 2. Вплив факторів на урожайність насіння залежно від сортових особливостей і попередників (середнє за 2022-2024 рр.)

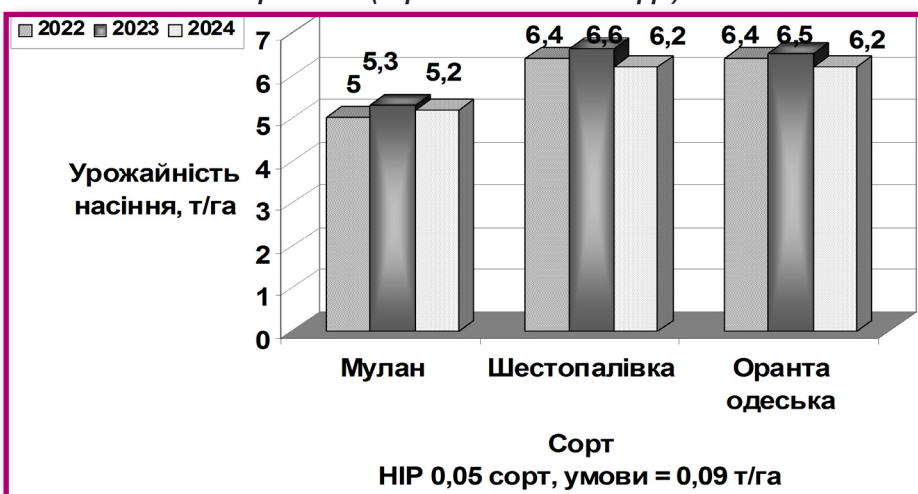


Рис. 3. Урожайність насіння залежно від генотипу та умов вирощування (середнє за 2022-2024 рр.)

Таблиця 2.

Урожайність насіння (т/га) залежно від умов вирощування, сортових особливостей та попередників (середнє 2022-2024 рр.)

Рік вегетації	Попередник	Сорт		
		Мулан	Шестопалівка	Оранта одеська
2022	Багаторічні трави	4,55	6,01	6,05
	Озимий ріпак	5,64	7,06	6,83
	Соняшник	4,94	6,27	6,35
2023	Багаторічні трави	4,73	6,21	6,11
	Озимий ріпак	6,03	7,35	6,96
	Соняшник	5,25	6,37	6,47
2024	Багаторічні трави	4,59	6,06	5,98
	Озимий ріпак	5,89	6,17	6,37
	Соняшник	5,15	6,37	6,25
НІР 0,05 заг		0,27		
НІР 0,05 сорт, умови, попередник		0,09		

сті насіння сортів української селекції “Шестопалівка” та “Оранта одеська” після всіх попередників не виявлено. Якщо врожайність насіння сорту “Шестопалівка” після багаторічних трав становила 6,09 т/га, а після соняшника 6,34 т/га, то

в сорту “Оранта одеська” ці показники були меншими, відповідно, на 0,04 та 0,02 т/га (НІР0,05 сорт, попередник = 0,11 т/га).

Дослідження факторів, які впливали на врожайність насіння виявля-

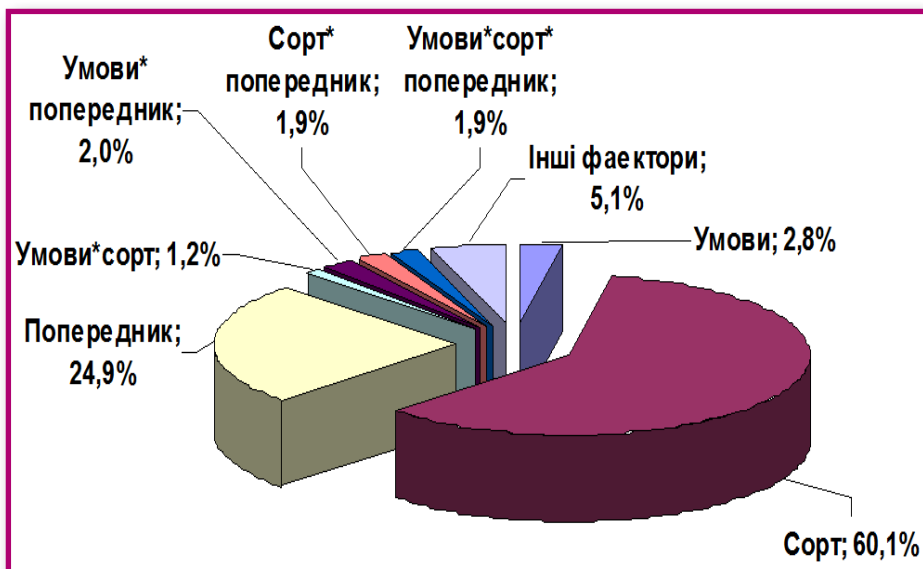


Рис. 4. Вплив факторів на урожайність насіння залежно від умов вирощування, сортових особливостей і попередників (середнє за 2022-2024 рр.)

Таблиця 3.

Якість насіння залежно від попередників (середнє по сортах за 2022-2024 рр.)

Попередник	Якість насіння		
	енергія проростання, %	схожість, %	маса 1000 насінин, г
Багаторічні трави	95	96	44,3
Озимий ріпак	95	97	45,9
Соняшник	94	96	45,2
НІР0,05	0,2	0,5	0,2

Таблиця 4.

Якість насіння залежно від умов вирощування, сортових особливостей та попередників (середнє 2022-2024 рр.)

Сорт	Попередник	Якість насіння		
		енергія проростання, %	схожість, %	маса 1000 насінин, г
Мулан	Багаторічні трави	95	96	43,7
	Озимий ріпак	96	97	45,2
	Соняшник	96	96	44,1
Шестопапівка	Багаторічні трави	96	97	44,5
	Озимий ріпак	95	97	46,2
	Соняшник	93	97	45,6
Оранта одеська	Багаторічні трави	94	95	44,6
	Озимий ріпак	94	96	46,4
	Соняшник	94	95	45,9
НІР 0,05 заг.		0,70	0,73	0,54
НІР 0,05 сорт, попередник		0,40	0,42	0,31

но, що найбільшим був вплив фактору «сорт» — 68,1% (рис. 2).

Вплив «фактору» попередник був значно меншим — 27,9%, а інших факторів — незначним.

Доцільно зазначити, що на врожай-

ність насіння пшениці озимої впливали, поряд із попередниками, умови вирощування та сортові особливості. Достовірно найвищу врожайність всіх сортів отримано в 2023 р. (рис. 3).

Найнижчу врожайність насіння в усі

роки досліджень отримано від середньоспілого сорту німецької селекції «Мулан». Порівняно з сортами української селекції, врожайність насіння була нижчою по роках досліджень в 2022 р. на 1,4 т/га, в 2023 р. — на 1,2–1,3 т/га і в 2024 р. — на 1,0 т/га. Урожайність насіння ранньостиглого сорту «Шестопапівка» та середньостиглого «Оранта одеська» була в 2022 та 2024 роках однаковою, а в 2023 р. різниця становила 0,1 т/га.

Комплексна оцінка врожайності насіння пшениці озимої залежно від сортових особливостей, попередників та умов вирощування показала, що всі фактори впливали на рівень урожайності (табл. 2).

В усі роки досліджень достовірно вищу врожайність насіння пшениці озимої отримано від ранньостиглого сорту «Шестопапівка» за сівби після озимого ріпака, яка становила від 6,17 т/га (2024 р.) до 7,06 т/га (2022 р.). Найнижчу врожайність насіння всіх сортів отримано після сівби після соняшника. Урожайність насіння середньостиглого сорту «Оранта одеська» була нижчою, ніж у сорту «Шестопапівка» та вищою, ніж у сорту «Мулан».

Дисперсійним аналізом виявлено, що на врожайність насіння найбільшим був вплив фактору «сорт», який становив 60,1% (рис. 4).

Вплив фактору «попередник» був значно меншим і становив 24,9%, а фактору «умови вирощування» був незначним.

Попередники пшениці озимої відіграють одну з найважливіших умов для забезпечення біологічних вимог культури для формування оптимальних сталіх урожаїв і, особливо, якісних показників насіння.

На якість насіння впливають різні фактори — сортові особливості, строки сівби й інші елементи технології та погодні умови. Так, за сівби в пізніші строки, енергія проростання була нижчою на 5–7%, а схожість — на 3,2–4,3% порівняно з оптимальним строком. На енергію проростання насіння негативний вплив мала надмірна кількість опадів у період дозрівання та збирання зерна [16]. Середньозважений показник маси 1000 зерен за вирощування пшениці озимої по неудобреному пару склав 38,7 г, після кукурудзи на силос — 37,0 г, а пшениці озимої — 36,4 г. За розміщення після зазначених попередників із застосуванням мінеральних добрив маса 1000 зерен збільшилася і склала, відповідно, 40,3; 38,9 та 39,1 г. Цей показник істотно залежить від особливостей сорту та фону живлення [17].

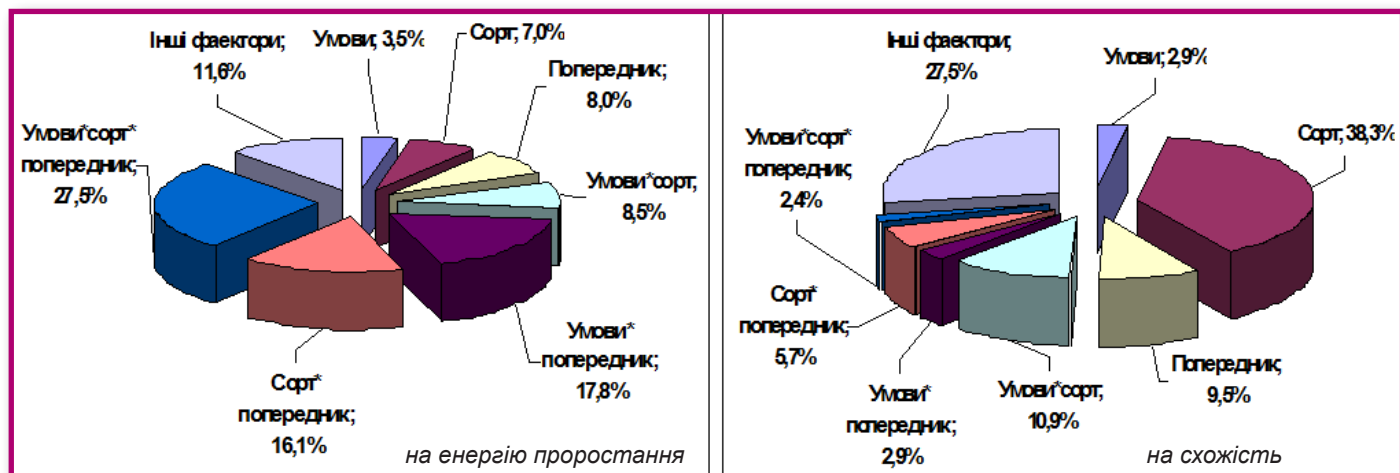


Рис. 5. Вплив факторів на якість насіння (за 2022-2024 рр.)

У середньому за роки досліджень енергія проростання, схожість і особливо маса 1000 насінин залежали від попередників. Достовірно меншою енергію проростання отримано за сівби після соняшника, а за сівби після озимого ріпака і багаторічних трав вона була однаковою (табл. 3).

Масу 1000 насінин достовірно вищу (45,9 г) отримано після озимого ріпака, а після багаторічних трав і соняшника вона була значно нижчою.

За комплексної оцінки за сортами й попередниками якісних показників насіння пшениці озимої виявлені аналогічні залежності. Схожість насіння сортів "Мулан" та "Оранта одеська" після попередників багаторічні трави і соняшник була значно нижчою, ніж після попередника озимий ріпак. Водночас як схожість сорту "Шестопалівка" за всіх попередників була однаковою й становила 97% (табл. 4).

Достовірно більшою сформувалася маса 1000 насінин всіх сортів за сівби пшениці озимої після озимого ріпака. Так, у середньостиглого сорту німецької селекції "Мулан" вона становила 45,2 г, що на 1,5 г більше, ніж по багаторічних травах і на 1,1 г більше, порівняно з сівбою по соняшнику. Аналогічні результати збільшення маси 1000 насінин отримані в ранньостиглого сорту "Шестопалівка" і середньостиглого "Оранта одеська" — залежно від попередників. Для всіх сортів найкращим попередником, що вивчали, був озимий ріпак. За сівби після озимого ріпака насіннева продуктивність сортів як зарубіжної, так і української селекції була значно вищою порівняно з попередниками багаторічних трав та соняшника.

Дисперсійним аналізом виявлено, що на енергію проростання насіння найбільшим був вплив взаємодії факторів «умови*сорт*попередник», який становив 27,5%, а на схожість фактору

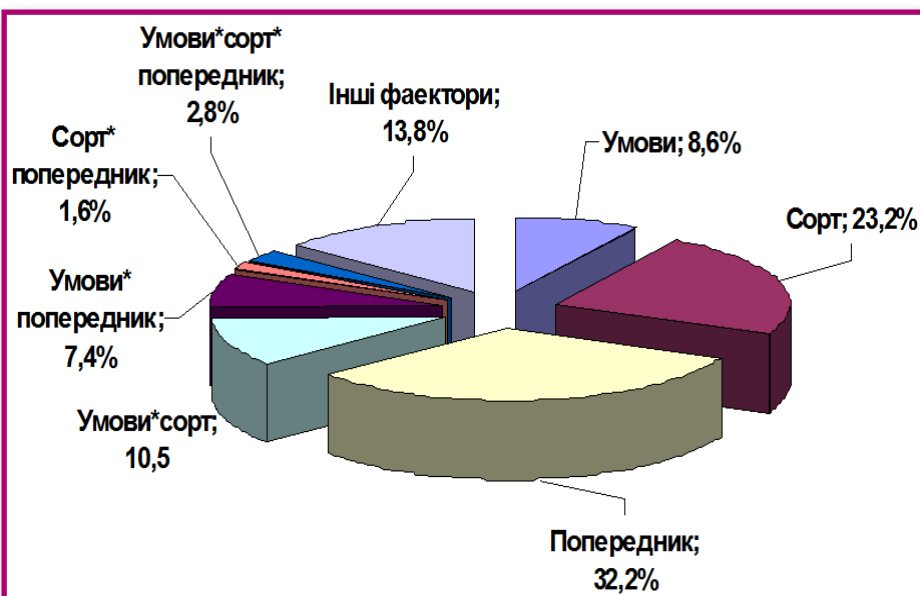


Рис. 6. Вплив факторів на масу 1000 насінин (за 2022-2024 рр.)

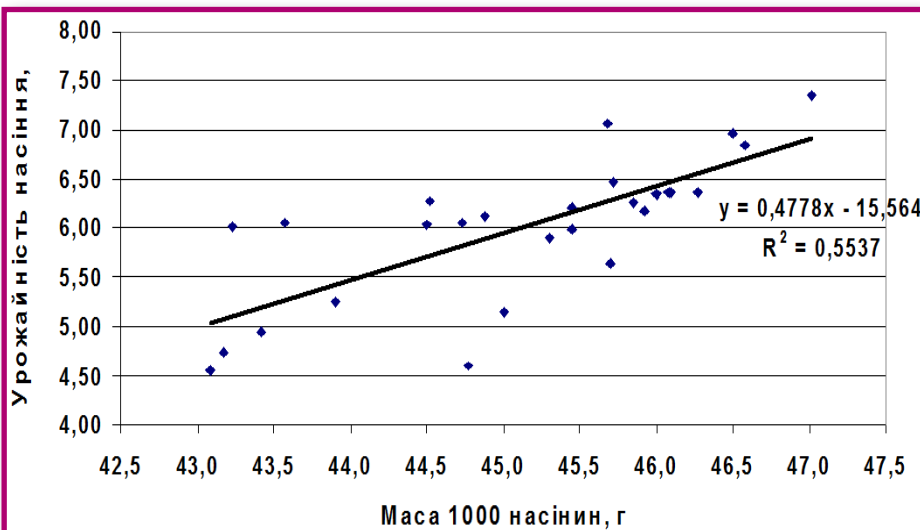


Рис. 7. Залежність урожайності насіння та маси 1000 насінин (середнє за 2022-2024 рр.)

«сорт» — 38,3% (рис. 5).

Вплив інших факторів та їх взаємодія були незначними, крім взаємодії факторів «умови вирощування*сорт» — 10,5%. Вплив фактору «попередник» був незначним і становив: для енергії проростання — 8,0%, схожості — 9,5%.

На формування маси 1000 насінин найбільшим був вплив факторів «попередник» — 32,2% та «сорт» — 23,2% (рис. 6).

Кореляційно-регресійний аналіз ви-

явив сильну лінійну кореляцію між урожайністю насіння та масою 1000 насінин (рис. 7).

Коефіцієнт детермінації $R^2=0,5537$ та коефіцієнт кореляції $r = 0,74$. Побудоване рівняння регресії, що описує цю залежність: $y = 0,4778x - 15,564$; збільшення маси 1000 насінин сприяє підвищенню врожайності насіння.

Висновки. На врожайність насіння пшениці озимої впливали, поряд з попередниками, умови вирощування та сор-

тові особливості. Достовірно найвищу врожайність всіх сортів після озимого ріпака отримано в 2023 р. Найнижчу врожайність насіння в усі роки досліджень отримано від середньоспілого сорту німецької селекції «Мулан». Енергія проростання, схожість і маса 1000 насінин залежали від попередників. Достовірно меншою енергією проростання отримано за сівби після соняшника, а за сівби після озимого ріпака і багаторічних трав вона була однаковою.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сайко В. Ф. Вітчизняне зернове господарство. Розмов багато, ефективності мало. Зерно і хліб. 2005. № 3. С. 6–7.
2. Лисікова В. Н., Лисікова В. Н., Шовгун О. П. Нові сорти озимої пшениці — нові можливості. Пропозиція. 2013. № 8. С. 62–65.
3. Грабовець А. І., Фоменко М. А. Озимая пшеница Харків. 2008. 520 с.
4. Заїма О. А., Дергачов О. Л., Сіроштан, А. А., Кавунець В. П., Шевченко Т. В. Урожайність та показники якості насіння пшениці озимої за різних попередників і строків сівби. Зернові культури. Том 7. № 2. 2023. С. 314–321. [Електронний ресурс].— Режим доступу: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0292>
5. Бузинний М. В. Продуктивність пшениці озимої залежно від попередників. Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН». 2015. Вип. 2. С. 206–116.
6. Черенков А. В., Костиця І. В., Остапенко М. А., Желязков О. І. Урожайність і економічна ефективність вирощування пшениці озимої залежно від попередників, строків сівби та норм висіву в умовах Присвішся. Бюлетень інституту зернового господарства. 2010. № 39. С. 143–148.
7. Ноздріна Н. Л. Продуктивність та якість зерна пшениці озимої залежно від азотних підживлень після ячменю ярого. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2015. № 3. С. 171–174.
8. Norwood Charles A. Dryland winter wheat as affected by previous crops. Semigroup forum. 2000. No 1. P. 121–127.
9. Sieling K., Gunther-Borstel O., Teebken T. Soil mineral N and N net mineralization during autumn and winter under an oilseed rape–winter wheat–winter barley rotation in different crop management systems. J.agr. Sc., 1999. 132, pt 2. P. 127–137.
10. Авраменко С., Попов С. Ріпак як попередник для озимих зернових культур: ламання стереотипів. Агробізнес сьогодні. 2015. С. 15–16, 31–35.
11. Волощук О., Волощук І., Глива В. Насіннева продуктивність і посівна якість насіння сортів пшениці озимої залежно від строків сівби в умовах Західного Лісостепу. Корми і кормовиробництво. 2014. Вип. 79. С. 82–88.
12. Литовченко А. О. Продуктивність сортів пшениці озимої залежно від попередника і фону живлення в умовах Південного Степу України: авт. дис. ... канд. с.-г. наук: спец. 06.01.09 «Рослинництво» / Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв, 2019. 21 с.
13. Національний стандарт України. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості: ДСТУ 4138–2002. К.: Держспоживстандарт України, 2002. 173 с.
14. Fisher R. A. Statistical methods for research workers. New Delhi: Cosmo Publications, 2006. 354 p.
15. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті STATISTICA 6. Методичні вказівки. К.: 2007. 55 с.
16. Волощук О., Волощук І., Глива В. Насіннева продуктивність і посівна якість насіння сортів пшениці озимої залежно від строків сівби в умовах Західного Лісостепу. Корми і кормовиробництво. 2014. Вип. 79. С. 82–88.
17. Литовченко А. О. Продуктивність сортів пшениці озимої залежно від попередника і фону живлення в умовах Південного Степу України: авт. дис. ... канд. с.-г. наук: спец. 06.01.09 «Рослинництво» / Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв, 2019. 21 с.

АНОТАЦІЯ

УДК 575.827.633.11

УРОЖАЙНІСТЬ І ЯКІСТЬ НАСІННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ПОПЕРЕДНИКІВ

Поліщук В. В., Прутула Ю. М.

Мета. Встановити особливості формування врожайності й якості насіння пшениці озимої залежно від генотипу та попередників в умовах Правобережного Лісостепу. **Методи.** Польові, лабораторні, мате-

матично-статистичні. **Результати.** Вплив попередників на формування елементів структури врожаю забезпечило підвищення врожайності насіння пшениці озимої. В середньому по сортах найвищу врожайність — 6,48 т/га отримано за сівби пшениці озимої після озимого ріпака. За сівби після соняшника врожайність насіння була достовірно нижчою, ніж після озимого ріпака, але значно вищою порівняно з сівбою після багаторічних трав, на врожайність насіння пшениці озимої впливали, поряд з попередниками, умови вирощування та сортові особливості. Достовірно найвищу врожайність всіх сортів отримано в 2023 р. Найвищу врожайність насіння пшениці озимої забезпечив ранньостиглий сорт «Шестопалівка» по всіх попередниках, порівняно з середньостиглими сортами: як німецької селекції «Мулан», так і української селекції «Оранта одеська». Найкращим попередником для всіх сортів виявився озимий ріпак, а найгіршим — багаторічні трави. Енергія проростання, схожість і, особливо, маса 1000 насінин залежали від попередників. Достовірно меншу енергію проростання отримано за сівби після соняшника, а за сівби після озимого ріпака та багаторічних трав вона була однаковою. **Висновки.** На врожайність насіння пшениці озимої впливали, поряд з попередниками, умови вирощування та сортові особливості. Достовірно найвищу врожайність всіх сортів після озимого ріпака отримано в 2023 р. Найнижчу врожайність насіння в усі роки досліджень отримано від середньоспілого сорту німецької селекції «Мулан». Енергія проростання, схожість і маса 1000 насінин залежали від попередників. Достовірно меншою енергією проростання отримано за сівби після соняшника, а за сівби після озимого ріпака і багаторічних трав вона була однаковою.

Ключові слова: сорт, енергія проростання, схожість, маса 1000 насінин, частка впливу факторів.

ABSTRACT

UDC575.827.633.11

Yield and quality of winter wheat seeds depending on varietal characteristics and predecessors

Polishchuk V. V., Prytula Yu. M.

Purpose. To determine the peculiarities of formation of yield and quality of winter wheat seeds depending on genotype and predecessors in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe. **Methods.** Field, laboratory, mathematical and statistical. **Results.** The influence of predecessors on the formation of elements of the yield structure provided an increase in the yield of winter wheat seeds. On average, the highest yield of 6.48 t/ha was obtained by sowing winter wheat after winter rape. When sown after sunflower, the seed yield was significantly lower than after winter rape, but significantly higher than when sown after perennial grasses. Winter wheat seed yield was influenced, along with the predecessors, by growing conditions and varietal characteristics. Significantly higher yields of all varieties were obtained in 2023. The highest winter wheat seed yields were provided by the early maturing variety Shestopalivka for all predecessors, compared to the mid-season varieties of both the German selection Mulan and the Ukrainian selection Oranta Odesa. The best predecessor for all varieties was winter rape, and the worst was perennial grasses. The germination energy, germination rate, and especially the weight of 1000 seeds depended on the predecessors. Significantly lower germination energy was obtained when sowing after sunflower, and when sowing after winter rape and perennial grasses, it was the same. **Conclusions.** The yield of winter wheat seeds was influenced, along with the predecessors, by growing conditions and varietal characteristics. The highest yield of all varieties after winter rape was obtained in 2023. The lowest seed yield in all years of research was obtained from the mid-season variety of the German selection Mulan. The germination energy, germination rate and weight of 1000 seeds depended on the predecessors. Significantly lower germination energy was obtained when sowing after sunflower, and when sowing after winter rape and perennial grasses, it was the same.

Keywords: variety, germination energy, germination rate, weight of 1000 seeds, share of influence of factors.

ФОРМУВАННЯ БІОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОСЛИН ГІРЧИЦІ ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ

І.І. МИКОЛАЙКО

Уманський державний педагогічний
університет імені Павла Тичини

Вступ. Гірчиця є культурою багато-векторного промислового значення завдяки різноманітному використанню. Крім того, гірчиця широко відома як сидеральна культура, оскільки вона має унікальну властивість засвоювати важкодоступні форми поживних речовин із ґрунту та переводити їх у легкозасвоювані форми [1]. На сьогодні її значення в Україні постійно зростає та викликає значний інтерес у сільгоспвиробників, оскільки має високу рентабельність виробництва (до 100%), наявність ринку збуту — в основному експорт через незначні об'єми вітчизняної переробки (до 7%) та цілий ряд біологічних особливостей [2, 3]. Збільшення попиту на насіння гірчиці та з появою у виробництві нових сортів, практичного значення набуває максимальна реалізація генетичного й біологічного потенціалу культури шляхом удосконалення технології вирощування та встановлення для них оптимальних параметрів агротехнічних прийомів вирощування [4]. Тому дослідження сортів гірчиці та елементів технології її вирощування в умовах Правобережного Лісостепу є актуальним.

Численними дослідженнями, проведеними в різних ґрунтово-кліматичних умовах встановлено, що одним з вирішальних факторів, що впливає на насіннєву продуктивність гірчиці, є впровадження сучасних агротехнологічних заходів, за яких створюються сприятливі умови для росту й розвитку рослин. Так за першого строку сівби при внесенні мінеральних добрив у дозі N45P45K45, порівняно з пізнішими строками, формувалася максимальна кількість стручків на рослині — 139,7 шт., насінин у стручку — 6,4 шт., довжина стручка — 4,2 см., маса 1000 насінин — 6,51 г і найвища індивідуальна продуктивність — 5,82 г/росл. [5]. На формування елементів структури врожаю — кількість стебел, стручків на рослині, кількість насінин у стручку — значно впливають агротехнічні заходи та строки й способи сівби, норми висіву, густота стояння рослин та ін. [6, 7]. Застосування нових сортів різного походження також забезпечує збільшенню висоти рослин та інших елементів структури врожаю. За даними М. Ю. Волощук,

в умовах Західного Лісостепу висота рослин та кількість стебел на рослині зросли у сорту «Аріадна» на 9,0–19,0 см та 1,2–1,9 шт., сорту «Біла Принцеса», відповідно — на 11,0–23,0 та 1,2–1,8 шт., порівняно з контролем [8]. Норми висіву також впливають на формування елементів структури врожаю. Так, в умовах Передкарпаття за сівби насіння з нормою 2,0 млн. шт./га було сформовано 102,6 шт. стручків на рослині, а маса 1000 насінин становила 5,59 г, а за зменшеної норми висіву 1,5 млн. шт./га ці показники були значно вищими й становили, відповідно — 125,3 шт. та 5,72 г [9]. Гірчиця чутлива до фізичного стану ґрунту й підтвердженням цьому є зміна її показників структури врожаю залежно від систем основного обробітку ґрунту та удобрення. Так, на фоні мінерального удобрення за полицевої системи основного обробітку ґрунту, висота рослин була 152 см, що значно переважала чисельний та плоско-різний обробіток, за яких вона становила, відповідно — 136 та 134 см. Аналогічно змінювалися й інші елементи структури врожаю [10]. Оскільки на формування біометричних показників, які впливають на врожайність насіння, то доцільно їх досліджувати як залежно від сортів особливостей, так і елементів технології.

Метою наших досліджень було встановити особливості формування елементів структури врожаю гірчиці залежно від сортів особливостей, строків та способів сівби культури в умовах Правобережного Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень.

Дослідження з визначення елементів структури врожаю гірчиці залежно від сортів особливостей та строків і способів сівби проводили на дослідному полі Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини МОН впродовж 2020–2023 рр., яке розміщене в зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України. Досліди проводили з чотирма сортами гірчиці білої — «Еталон», «Підпечерецька», «Аріадна» та «Ослава» і одним сортом гірчиці чорної «Царівна Півночі».

Схемою досліду передбачено сівбу гірчиці в два строки: перший строк сівби за досягнення фізичної стиглості ґрунту й температури ґрунту 5–7 °С, що припадає на I–II декади квітня, другий — за температури ґрунту 8–9 °С, що припадає на III декаду квітня і два способи сівби: звичайний рядковий спосіб із міжряддям 15 см та широкорядний — із міжряддям 45 см. Сів-

бу проводили з нормою висіву 1,5 млн.шт./га. Елементи структури врожаю, які впливають на насіннєву продуктивність — висота рослин, кількість стручків на рослині та кількість насінин в стручку визначали за «Методикою сорто випробування сільськогосподарських культур» [11]. Урожайність насіння після первинної очистки — шляхом зважування по ділянках із кожного повторення. Масу 1000 насінин — згідно з ДСТУ [12]. Експериментальні дані обробляли статистично з використанням дисперсійного аналізу за методом Фішера [13] та методичних рекомендацій [14]. Погодні умови за температурним режимом були наближені до середніх багаторічних, а за забезпеченістю вологою — різнилися по роках. Вегетаційний період 2020, 2022 та 2023 років характеризувався дефіцитом вологи й лише 2021 р. — незначним перевищенням. ґрунт на дослідній ділянці — чорнозем опідзолений важкосуглинковий і характеризуються грудкувато-пилюватою структурою, з невисоким вмістом гумусу — 3,31%. Реакція ґрунтового розчину нейтральна — pH 6,5–6,7. Вміст рухомих сполук фосфору (за методом Чирікова) та калію становить 80–130 мг/кг — середня забезпеченість. Тобто, ґрунтово-кліматичні умови були сприятливими для росту й розвитку рослин гірчиці та формування врожаю й якості насіння.

Результати досліджень та їх обговорення. Врожайність гірчиці, так як і інших сільськогосподарських культур, залежить від росту й розвитку рослин та формування елементів структури врожаю — кількості стручків на рослині, кількості насінин в стручку та маси 1000 насінин (табл. 1).

Формування елементів структури врожаю залежало як від елементів технології — строків і способів сівби, так і від сортів особливостей. З'ясовано, що за першого строку сівби, коли ґрунт прогрівається до температури 5–7 °С, більше було стручків на рослині (96,5–113,3 шт.), кількість насіння в стручку (3,5–3,9 шт.) та висота рослин (91,3–100,3 см.), ніж за пізнішого другого строку сівби в усіх сортах незалежно від способів сівби.

Способи сівби також впливали на формування елементів структури врожаю. За сівби з міжряддям 15 см за обох строків сівби значно більше формувалося стручків (39,0–113,3 шт.) на рослинах, порівняно з шириною міжряддям 45 см (33,9–108,2 шт.), а за сівби з міжряддям 45 см — більше формувалося насіння в стручку (3,5–3,9

Таблиця 1

Біометричні показники залежно від сортових особливостей, строків та способів сівби (2021–2023 рр.)

Варіант			Біометричні показники		
сорт	строк сівби	спосіб сівби	висота рослин, см	кількість стручків, шт.	кількість насінин в стручку, шт.
Царівна Півночі	I-II дека- да квітня, t 5–7 °C	15	91,3	103,4	3,5
		45	93,8	98,0	3,7
	III декада квітня, t 8–9 °C	15	79,5	39,0	3,4
		45	81,3	33,9	3,5
Еталон	I-II дека- да квітня, t 5–7 °C	15	95,7	104,1	3,5
		45	98,1	96,5	3,6
	III декада квітня, t 8–9 °C	15	82,8	44,4	3,4
		45	85,0	34,5	3,5
Аріадна	I-II дека- да квітня, t 5–7 °C	15	97,5	113,3	3,6
		45	99,3	104,1	3,8
	III декада квітня, t 8–9 °C	15	81,9	43,3	3,4
		45	84,3	36,3	3,5
Підпече- рецька	I-II дека- да квітня, t 5–7 °C	15	98,0	110,6	3,5
		45	100,3	100,8	3,7
	III декада квітня, t 8–9 °C	15	81,6	39,4	3,3
		45	83,8	35,0	3,4
Ослава	I-II дека- да квітня, t 5–7 °C	15	97,8	108,8	3,6
		45	98,9	108,2	3,9
	III декада квітня, t 8–9 °C	15	80,5	44,8	3,5
		45	82,7	37,1	3,8
H1P0,05 заг.			1,6	1,4	0,3
H1P0,05 сорт			0,8	0,7	0,2
H1P0,05 строк та спосіб сівби			0,5	0,5	0,1

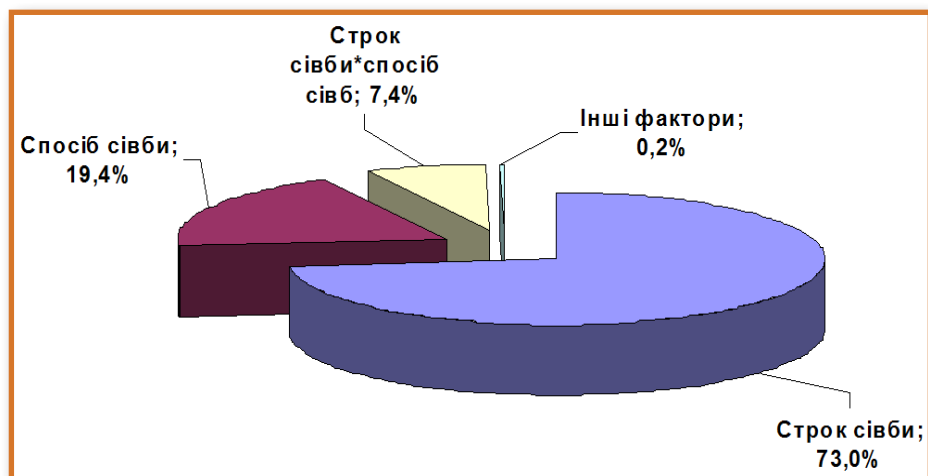


Рис. 1. Вплив факторів на формування елементів структури врожаю залежно від строків та способів сівби в середньому за 2020–2023 рр.

шт.) та була більшою висота рослин (81,3–100,3 см), порівняно з міжряддям 15 см в усіх сортах (3,3–3,8 шт. і 79,5–98,0 см відповідно).

Достовірно більша кількість стручків сформувалася в перший строк сівби за обох способів сівби у сортів «Аріадна» (113,3 шт. і 104,1 шт.), «Підпечерецька» (110,6 шт. і 100,8 шт.) та «Ослава» (108,8 шт. і 108,2 шт), найвищою була й висота рослин цих сортів, відповідно, 97,5 см і 99,3 см; 98,0 см і 100,3; 97,89 см і 98,9 см. Водночас, достовірної різниці з кількості насіння в стручку, залежно від сортових особливостей та елементів технології, не виявлено, крім сорту «Ослава», який формував достовірно більшу кількість стручків порівняно з іншими сортами. Достовірно вищими були рослини за обох строків та способів сівби у сорту «Підпечерецька». Висота рослин сортів «Аріадна» та «Ослава» була майже однаковою й значно меншою, ніж у сорту «Підпечерецька», але достовірно більшою за сортів «Царівна Півночі» й «Еталон», в яких висота рослин була найменшою, порівняно з іншими сортами.

Дослідженням факторів, які впливали на формування елементів структури врожаю, з'ясовано, що найбільшим був вплив фактору «строк сівби» й становив 73,0%, вплив фактору «спосіб сівби» був меншим і становив 19,4%. Вплив інших факторів та їх взаємодія були незначними (рис. 1).

Найбільш мінливим із усіх елементів продуктивності культури є число стручків на рослині, а найменш — кількість насіння в стручку. Якщо кількість стручків на рослині варіювала в великих межах від 34,5 до 104,1 шт., то кількість насіння в стручку — від 3,4 до 3,8 шт. залежно від сортових особливостей та строків і способів сівби. Фактично, кількість насіння в стручку не є основним показником при визначенні врожайності гірчиці.

Оскільки за першого, раннього строку сівби, формувалося більше стручків на рослині за обох способів сівби, то й урожайність насіння була значно вищою, ніж за пізнішого строку сівби всіх сортів. У середньому, з сортів за першого строку сівби, вузькорядним способом (15 см) урожайність насіння була вищою на 0,38 т/га, широкорядним способом — на 0,54 т/га, порівняно з пізнішим способом сівби.

За сівби в перший строк, порівняно з пізнішим, другим строком, в усіх сортах отримано достовірну прибавку врожаю насіння за обох способів сівби. Найбільшу прибавку врожайності — 1,12 т/га — отримано за сівби в перший строк широкорядним способом (рис. 2). Достовірно вищу прибавку врожайності насіння отримано за сівби широкорядним способом усіх сортів, за виключенням лише сорту «Підпечерецька», в якого прибавка врожайності була вищою за вузькорядного способу сівби (0,47 т/га).

Висновки. Встановлено, що сортові особливості, строки та способи сівби гірчиці достовірно впливають на формування елементів урожайності культури і, відповідно — на врожайність насіння. З'ясовано, що за першого строку сівби, коли ґрунт прогріється до температури 5–7 °С, більше було стручків на рослині (96,5–113,3 шт.), кількість насіння в стручку (3,5–3,9 шт.) та висота рослин (91,3–100,3 см.), ніж за пізнішого другого строку сівби в усіх сортах незалежно від способів сівби. За сівби з міжряддям 15 см за обох строків сівби значно більше формувалося стручків (39,0–113,3 шт.) на рослинах порівняно з шириною міжряддям 45 см (33,9–108,2 шт.), а за сівби з міжряддям 45 см більше формувалося насіння в стручку (3,5–3,9 шт.) та була більшою висота рослин (81,3–100,3 см) порівняно з міжряддям 15 см в усіх сортах (3,3–3,8 шт. і 79,5–98,0 см відповідно). Достовірно більшу кількість стручків сформувалося в перший строк сівби за обох способів сівби в сортів «Аріадна» (113,3 шт. і 104,1 шт.), «Підпечерецька» (110,6 шт. і 100,8 шт.) та «Ослава» (108,8 шт. і 108,2 шт.), найвищою була й висота рослин цих сортів, відповідно, 97,5 см і 99,3 см; 98,0 см і 100,3; 97,89 см і 98,9 см. Водночас достовірної різниці з кількості насіння в стручку залежно від сортових

особливостей та елементів технології не виявлено. Дисперсійним аналізом встановлено, що найбільшим був вплив фактору «строк сівби» і становив 73,0%, вплив фактору «спосіб сівби» був меншим і становив 19,4%. Вплив інших факторів та їх взаємодія були незначними.

особливостей та елементів технології не виявлено. Дисперсійним аналізом встановлено, що найбільшим був вплив фактору «строк сівби» і становив 73,0%, вплив фактору «спосіб сівби» був меншим і становив 19,4%. Вплив інших факторів та їх взаємодія були незначними.

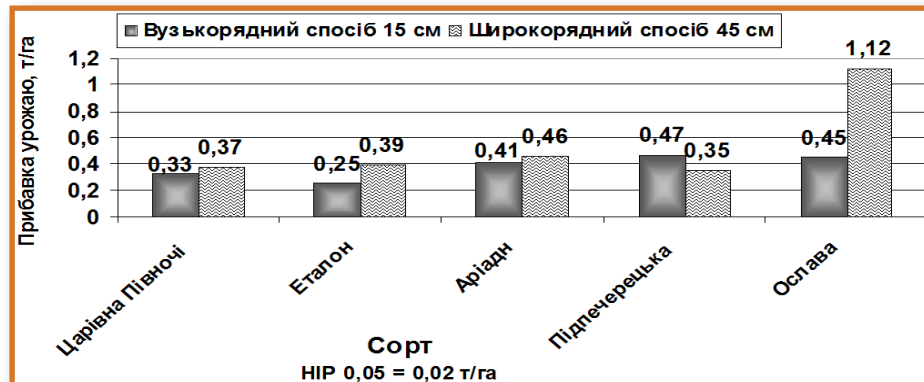


Рис. 2. Прибавка врожаю насіння за сівби в перший строк, порівняно з другим, залежно від сортових особливостей і способів сівби

REFERENCES

1. Polyakov O., Zhuravel V. Prospects for growing mustard. Proposal. 2009. № 2. С. 54–56.
2. Oilseeds and essential oilseeds / Edited by Gorodnyi M. G. K.: Urozhay, 1970, pp. 154–155.
3. Zhuravel V. M., Lyakh V. O. Mutant selection of gray and white mustard. Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseeds of NAAS, No. 20, 2014: 56–61.
4. Zhuykov, O. G. Mustard in the Southern Steppe: agroecological aspects and cultivation technologies: a scientific monograph. SHEI «Kherson State Agrarian University». Kherson: Publisher Green DS, 2014. 416 c.
5. Influence of sowing dates and doses of mineral fertilizers on the productivity of white mustard. Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseeds of NAAS, No. 21, 2014: 65–74.
6. Melnyk T. I., Ali Shahid, Kolosok V. G. Quality of white mustard seeds depending on the variety and sowing rates in the conditions of the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine. Tavrian Scientific Bulletin. 2020. № 113. С. 92–97. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.113.13>.
7. Influence of technology elements on the productivity of Sareptska mustard of Svitlana variety. Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseeds of the Ukrainian Academy of Agrarian Sciences, No. 14, 2009: 143–149.
8. Formation of yield of white mustard seeds depending on the level of mineral nutrition of plants. Foothill and mountain agriculture and animal husbandry. 2024. Issue 75 (1). С. 18–29. DOI: 10.32636/01308521.2024-(75)-1-2
9. Melnychuk T. V., Sendetskyi V. M., Lys N. M., Stelmakh O. M. Influence of sowing dates and seeding rates on the formation of white mustard productivity in the conditions of the Carpathian region. Foothill and mountain agriculture and animal husbandry. 2024. Issue 75 (2). С. 87–97. DOI: 10.32636/01308521.2024-(75)-2-8
10. Kyryliuk V. P., Tymoshchuk T. M. Yield of white mustard depending on the system of basic tillage and fertilization. Scientific horizons. 2019. № 2 (75). С. 27–33. doi: 10.33249/2663-2144-2019-75-2-27-33
11. Methods of state variety testing of agricultural crops / Edited by V. Volkodav. K., 2000. Issue 1. 100 p.
12. National standard of Ukraine. Seeds of agricultural crops. Methods of quality determination: DSTU 4138-2002. K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2002. 173 c.
13. Fisher R. A. Statistical methods for research workers. New Delhi: Cosmo Publications, 2006. 354 p.
14. Ehrmantraut E. R., Prysiashniuk O. I., Shevchenko I. L. Statistical analysis of agronomic research data in STATISTICA 6. Methodical instructions. K.: 2007. 55 c.

АНОТАЦІЯ

ФОРМУВАННЯ БІОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОСЛИН ГІРЧИЦІ ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ

І.І. МИКОЛАЙКО

У статті представлені результати трирічних досліджень щодо особливостей формування елементів структури врожаю гірчиці залежно від сортових особливостей, строків та способів сівби культури в умовах Правобережного Лісостепу України. З'ясовано, що за першого строку сівби, коли ґрунт прогріється до температури 5–7 °С, більше було стручків на рослині (96,5–113,3 шт.), кількість насіння в стручку (3,5–3,9 шт.) та висота рослин (91,3–100,3 см.), ніж за пізнішого другого строку сівби в усіх сортах незалежно від способів сівби. За сівби з міжряддям 15 см за обох строків сівби значно більше формувалося стручків (39,0–113,3 шт.) на рослинах порівняно з шириною міжряддям 45 см (33,9–108,2 шт.), а за сівби з міжряддям 45 см більше формувалося насіння

в стручку (3,5–3,9 шт.) та була більшою висота рослин (81,3–100,3 см) порівняно з міжряддям 15 см в усіх сортах (3,3–3,8 шт. і 79,5–98,0 см відповідно). Достовірно більша кількість стручків сформувалося в перший строк сівби за обох способів сівби в сортів «Аріадна» (113,3 шт. і 104,1 шт.), «Підпечерецька» (110,6 шт. і 100,8 шт.) та «Ослава» (108,8 шт. і 108,2 шт.), найвищою була й висота рослин цих сортів, відповідно, 97,5 см і 99,3 см; 98,0 см і 100,3; 97,89 см і 98,9 см. Водночас, достовірної різниці з кількості насіння в стручку залежно від сортових особливостей та елементів технології не виявлено. Встановлено, що сортові особливості, строки та способи сівби гірчиці достовірно впливають на формування елементів урожайності культури і, відповідно — на урожайність насіння. Найбільшу прибавку врожайності — 1,12 т/га отримано за сівби в перший строк широкорядним способом. Достовірно вищу прибавку врожайності насіння отримано за сівби широкорядним способом всіх сортів за виключенням лише сорту «Підпечерецька», в якого прибавка врожайності була вищою за вузькорядного способу сівби (0,47 т/га). Дисперсійним аналізом встановлено, що найбільшим був вплив фактору «строк сівби» і становив 73,0%, вплив фактору «спосіб сівби» був меншим і становив 19,4%. Вплив інших факторів та їх взаємодія були незначними.

Ключові слова: сорт, висота рослин, кількість стручків, кількість насіння в стручку, урожайність.

ABSTRACT

Formation of biometric parameters of mustard plants depending on varietal characteristics and elements of technology

I. I. Mykolaiko

The article presents the results of three years of research on the peculiarities of the formation of elements of the structure of the mustard crop depending on the varietal characteristics, terms and methods of sowing the crop in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. It was found that during the first sowing term, when the soil warms up to a temperature of 5–7 °C, there were more pods per plant (96.5–113.3 pcs.), the number of seeds per pod (3.5–3.9 pcs.) and plant height (91.3–100.3 cm.) than during the later second sowing term in all varieties, regardless of sowing methods. When sowing with a row spacing of 15 cm at both sowing dates, significantly more pods were formed (39.0–113.3 pcs.) on plants compared to a row spacing of 45 cm (33.9–108.2 pcs.), and when sowing with a row spacing of 45 cm, more seeds were formed in the pod (3.5–3.9 pcs.) and the height of plants was higher (81.3–100.3 cm) compared to a row spacing of 15 cm in all varieties (3.3–3.8 pcs. and 79.5–98.0 cm, respectively). Significantly more pods were formed in the first term of sowing in both sowing methods in varieties Ariadna (113.3 pcs. and 104.1 pcs.), Pidpечeretska (110.6 pcs. and 100.8 pcs.) and Oslava (108.8 pcs. and 108.2 pcs.), the highest height of plants of these varieties was 97.5 cm and 99.3 cm, 98.0 cm and 100.3, 97.89 cm and 98.9 cm, respectively. At the same time, there was no significant difference in the number of seeds per pod depending on varietal characteristics and elements of technology. It has been established that varietal characteristics, terms and methods of sowing mustard significantly affect the formation of crop yield elements and, accordingly, seed yield. The highest yield increase of 1.12 t/ha was obtained when sowing in the first term using the wide-row method. A significantly higher increase in seed yield was obtained when sowing by the wide-row method for all varieties, except for the variety Pidpечeretska, in which the yield increase was higher than the narrow-row method of sowing (0.47 t/ha). The analysis of variance showed that the influence of the «sowing date» factor was the largest and amounted to 73.0%, the influence of the «sowing method» factor was less and amounted to 19.4%. The influence of other factors and their interaction was insignificant.

Keywords: variety, plant height, number of pods, number of seeds per pod, yield.

УДК 633.88:581.4 <https://doi.org/10.47414/be.2025.No1.pp.35-38>

ВПЛИВ ГУСТОТИ СТОЯННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ STEVIA REBAUDIANA

СТЕФАНЮК В.Й.¹,
ПАВЛІЧЕНКО М.В.²,
ЯЦЕВ Д.О.³,
ФУРСА А.В.^{1,4}

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

²Інститут агроекології і природокористування НААН

³Державний податковий університет

⁴Національний університет біоресурсів і природокористування України

Вступ. Стевія — це один із найвідоміших природніх цукрозамінників, який отримують з листя однойменної рослини. В народі її називають «медою травою» [1–3].

Одним із основних питань технології вирощування стевії є оптимізація площі живлення. Оптимальна густина стояння рослин є однією з важливих

умов вирощування високих врожаїв, оскільки посів повинен бути спланований таким чином, щоб індивідуальні особливості рослин могли найкращим чином поєднуватись із закономірностями продуктивного процесу посіву як цілого. Чим повніша та рівномірніша густина стояння рослин, тим рівномірнішим буде їхній ріст і розвиток, менше буде втрат під час збирання та вищою буде якість сировини [4–6].

Ученими відмічено, що з агрономічної точки зору оптимальна густина посіву або посадки сільськогосподарської культури, є та, за якої досягається найбільша продуктивність окремої рослини, а також забезпечується отримання з одиниці площі максимального врожаю основної продукції культури. Це має бути досягнуто з високою якістю та за найменших затрат праці й матеріальних засобів [7,8].

Вирощувати стевію як багаторічну культуру зарубіжні вчені рекомендують за різної густоти стояння (посадження) рослин стевії. Так, у різних дослідженнях відмічають, що густина коливається в межах 80–400 тис/га, але найбільш оптимальною є густина 100 тис/га [9–11].

Іншими авторами вказується, що кращим варіантом виявився 45 тис/га та не більше 200 тис/га [12–14].

При вивченні густоти стояння стевії в Центральному Лісостепу України за посадки розсадою встановлено, що оптимальною є густина в межах від 80 до 90 тис/га [15,16]. Проте, на сьогодні питання щодо оптимальної густоти стояння рослин стевії практично не вивчено й недостатньо виявлено в наукових публікаціях.

Мета дослідження — визначення оптимальної густоти посіву для підвищення врожайності та якості стевії.

Таблиця 1

Динаміка густоти стояння рослин стевії залежно від вихідної густоти, тис/га (2021–2023 рр.)

Рік	Варіант	Вихідна густина, тис/га	30-й день	60-й день	90-й день	120-й день	НІР _{0.5} (90-й день)
2021	1	70	68,0	66,5	65,0	64,5	5,0
	2 К	80	78,0	76,5	75,0	74,5	5,0
	3	90	87,5	86,0	84,8	84,3	5,0
	4	100	96,0	94,5	93,2	92,7	5,0
	5	110	105,5	104,0	102,8	102,3	5,0
2022	1	70	67,0	65,5	64,2	63,8	6,2
	2 К	80	77,0	75,5	74,2	73,8	6,2
	3	90	86,0	84,5	83,3	82,9	6,2
	4	100	95,0	93,8	92,5	92,0	6,2
	5	110	104,5	103,0	101,7	101,2	6,2
2023	1	70	66,5	65,0	63,7	63,3	6,7
	2 К	80	76,5	75,0	73,7	73,3	6,7
	3	90	85,0	83,5	82,2	81,8	6,7
	4	100	94,5	93,0	91,7	91,2	6,7
	5	110	103,5	102,0	100,7	100,2	6,7
Середнє за 2021–2023	1	70	67,2	65,7	64,3	63,9	6,0
	2 К	80	77,2	75,7	74,3	73,9	6,0
	3	90	86,2	84,7	83,4	83,0	6,0
	4	100	95,2	93,8	92,5	92,0	6,0
	5	110	104,5	103,0	101,7	101,2	6,0

Матеріали та методика дослідження. Дослідження проводили впродовж 2021–2023 р. на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. Закладання дослідів здійснювали за такою схемою: 1) густота 70 тис./га, 2) густота 80 тис./га контроль, 3) густота 90 тис./га, 4) густота 100 тис./га, 5) густота 110 тис./га. Згідно схеми дослідів, в період повних сходів формували вихідну густоту із розрахунку в першому варіанті — 3–4, в другому — 4–4,5, в третьому — 4–5 рослин на одному метрі рядка. Сівба — в третій декаді травня, ширина міжряддя 45 см.

Дослідження проводили за методикою державного сортопробування сільськогосподарських культур та іншими загальноприйнятими методиками дослідної справи [17–19].

Оцінку погодних умов років і окремих періодів здійснювали, використовуючи показники температури повітря, кількості опадів, середній гідротермічний коефіцієнт (ГТК) за даними метеопоста «Батієва гора»

Площа посівної ділянки — 25 м², залікової — 20 м², повторність — чотириразова. Сорт стевії — «Київський».

Результати дослідження та їх обговорення. Густота агрофітоценозу стевії на одиницю площі зумовлюється насамперед, за однакових норм висіву і ширини міжряддя, вихідною густотою стояння рослин. У наших дослідженнях упродовж онтогенезу вона змінювалась наступним чином і подана в таблиці 1 (табл. 1).

Встановлено, що за весь вегетаційний період було відзначено зменшення густоти стояння в усіх варіантах дослідів.

В 2021 році на усіх варіантах на 30 добу було відмічено густоту від 64,5 до 105,5 тис./га, у 2022 році — від 67,0 до 104,5 тис./га, а у 2023 році — від 66,5 до 103,5 тис./га (табл. 1).

У дослідженнях відмічено, що є поступове зниження густоти посівів на всіх варіантах, особливо між 30-м і 90-м днем.

Встановлено, що зниження густоти відбувається при початковій густоті

110 тис./га найменше, а найбільше — при 70 тис./га.

Дослідження вказують, що за густоти 100–110 тис./га отримано вищу стабільність протягом 120 днів. Так, за 100 тис./га в середньому через 90 днів густота зменшується лише на 2,7%, тоді як при 70 тис./га падіння становить 7,5%.

Досліджено, що найбільші втрати відбулись у посівах із вихідною густотою 100 тис./га і до 120-го дня чисельність рослин зменшилася (табл. 1).

Таким чином, динаміка густоти стояння рослин стевії залежно від вихідної густоти вказує, що 2021 і 2022 роки були більш сприятливі для росту й розвитку рослин, ніж 2023 рік, і на 120 добу відмічено найбільшу загибель стевії.

Проведені дослідження вказують, що за густоти від 70 до 110 тис./га відмічено тенденцію до висоти рослин, збільшення кількості пагонів першого порядку та листової поверхні.

Встановлено, що найвища висота у рослин становила 49,5 см та найбіль-

Таблиця 2

Розвиток рослин стевії залежно від вихідної густоти стояння (фаза бутонізації, 9-й етап органогенезу)

Рік	Варіант	Вихідна густота, тис./га	Висота, см	Ширина, см	Стебел, шт.	Пагонів першого порядку, шт.	Листків, шт.	Площа листової поверхні, см ²
2021	1	70	46,5	36,5	2,8/22,5	9,2/14,3	23,5	510
	2	80	47,1	37,0	2,6/23,8	9,0/14,0	24,0	530
	3 К	90	46,8	36,7	2,4/25,0	8,8/13,6	23,5	550
	4	100	47,5	37,3	2,2/26,1	8,5/14,2	24,2	600
	5	110	48,2	37,6	2,0/28,3	8,2/14,5	24,5	630
2022	1	70	36,8	28,7	3,5/30,5	9,0/13,5	24,0	460
	2	80	37,5	29,2	3,2/29,5	8,5/13,0	24,1	480
	3 К	90	38,6	29,0	2,8/38,2	10,2/14,0	23,8	530
	4	100	44,2	27,5	3,3/45,0	12,8/15,1	30,2	610
	5	110	45,8	27,8	3,5/48,0	13,5/15,5	31,0	640
2023	1	70	45,2	36,8	3,2/25,5	9,5/14,0	24,8	450
	2	80	46,5	37,8	3,4/26,5	9,8/14,3	25,2	470
	3 К	90	48,0	37,5	3,7/32,0	10,7/14,8	32,0	630
	4	100	48,7	37,8	3,9/38,5	13,6/15,5	34,2	650
	5	110	49,5	38,2	4,0/42,0	14,5/16,0	35,0	680
Середнє за 2021–2023	1	70	42,8	34,0	3,2/26,2	9,2/13,9	24,1	473,3
	2	80	43,7	34,7	3,0/26,6	9,1/13,8	24,4	493,3
	3 К	90	44,5	34,4	3,0/31,7	9,9/14,5	29,8	570
	4	100	46,8	34,8	3,1/36,5	11,6/15,0	31,6	620
	5	110	47,8	35,2	3,3/39,5	12,5/15,7	32,5	650
НІР□.□			1,3	0,2	0,21/2,6	1,5/0,4	1,5	34,1

ша площа листової поверхні — 680 см² за густоти 110 тис./га, а найменші значення були за густоти 70 тис./га — 42,8 см і 473,3 см² відповідно (табл. 2).

У таблиці 2 наведено дані по кількості стебел та пагонів першого порядку й відзначено, що в досліджуваній густоті 70 до 110 тис./га відзначено зростання кількості пагонів першого порядку (з 9,2 до 14,5 шт.) та збільшення стебел на рослину (з 3,2 до 4,0 шт.) (табл. 2).

Варто вказати, що в 2022 році були найменшими висота й площа листової поверхні через несприятливі погодні умови, а найбільші відмінності між варіантами відзначені в 2023 році (НІР□.□ = 60,5 см² для листової поверхні), що вказує про істотний вплив факторів густоти на продуктивність рослин (табл. 2).

Отже, для стевії варто відзначити густоту 100–110 тис./га, за якої відмічено позитивну варіацію між висотою, кількістю стебел, пагонами першого порядку та загальною площею листової поверхні. Густота 70–80 тис./га призводить до меншої продуктивності через

зниження площі листової поверхні та кількості пагонів.

Результати досліджень вказують, що густота рослин стевії істотно впливає на продуктивність. Так, в середньому за густоти 110 тис./га — 37,1 т/га зеленої маси та 24,6 т/га сухої маси відзначено як найвищі показники, а найменші за 70 тис./га — 25,8 т/га зеленої маси та 16,6 т/га сухої маси (табл. 3).

Доцільно вказати, що в 2023 році було досягнуто найвищу продуктивність, а найменшу — в 2022 році.

Встановлено, що густота 70 і 80 тис./га є недостатньою для стевії та призводить до зниження продуктивності через недостатню конкуренцію між рослинами.

Найбільш ефективний варіант для максимального врожаю був досягнутий за густоти 100 і 110 тис./га.

За роки досліджень варіант із густотою 90 тис./га (контроль) забезпечив стабільні результати та може бути рекомендованим стандартом при вирощуванні стевії насінням, до якого мож-

на прирівняти інші варіанти (табл. 3).

Таким чином, продуктивність стевії істотно залежала від досліджуваних факторів — густоти та кліматичних умов року.

Висновки. Максимальні значення висоти головного пагона (~48,7 см) та площі листової поверхні (~650 см²) зафіксовані при 100–110 тис./га, що свідчить про адаптаційні механізми рослин у відповідь на загущення.

Найоптимальніша густота стояння була в межах 90–100 тис./га, яка забезпечувала найкращі показники врожайності зеленої та сухої маси.

Максимальна врожайність сухої маси (до 30,0 т/га) спостерігалася при 110 тис./га, проте зростання густоти понад 100 тис./га не завжди забезпечувало суттєве зростання врожаю.

Збільшення густоти понад 100 тис./га хоча й підвищувало врожайність, але водночас призводило до загущення та ймовірного зниження ефективності фотосинтезу через затінення нижніх ярусів рослин.

Таблиця 3

Продуктивність стевії залежно від вихідної густоти стояння, т/га

Рік	Варіант	Вихідна густота, тис./га	Урожайність зеленої маси, т/га	Урожайність сухої маси, т/га
2021	1	70	20,5	15,0
	2	80	24,1	17,0
	3 (контроль)	90	30,3	19,6
	4	100	34,0	22,3
	5	110	36,8	24,5
	НІР□.□		2,9	2,3
2022	1	70	25,0	14,2
	2	80	27,2	15,8
	3 (контроль)	90	28,0	16,5
	4	100	29,5	18,0
	5	110	31,0	19,2
	НІР□.□		1,4	1,0
2023	1	70	32,0	20,5
	2	80	35,1	22,7
	3 (контроль)	90	38,5	25,4
	4	100	41,2	28,5
	5	110	43,5	30,0
	НІР□.□		2,5	2,9
Середнє за 2021–2023	1	70	25,8	16,6
	2	80	28,8	18,5
	3 (контроль)	90	32,3	20,5
	4	100	34,9	23,0
	5	110	37,1	24,6
	НІР□.□		2,3	2,0

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Загородній В. М. Оптимізація елементів технології вирощування стевії в умовах Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.09 «Рослинництво». Київ, 2006. 26 с.
2. Левчик Н. Я., et al. «Особливості морфології та стресостійкості рослин *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni залежно від форм та умов вирощування». Фактори експериментальної еволюції організмів (2016).
3. Роїк М. В., Кузнєцова І. В. Стевія в харчовій промисловості: [монографія]. Київ: Аграрна наука, 2015. 136 с.
4. Кузнєцова І. В. Обґрунтування системи контролю якості листя стевії (*Stevia rebaudiana* Bertoni). Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія, (18), (2014). 217–223.
5. Yadav A. K., Singh S., Dhyani D., Ahuja P. S. A review on the improvement of stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni)]. Canadian journal of plant science, 91(1), 2011. 1–27.
6. Стефанюк В. І. Стевія в Україні. Київ: Труд — ГриПол, 2003. 102 с.
7. Jordan Molero EL ka-a-hee. *Stevia rebaudiana* Bertoni. Anflisis Bibliografico Anotaciones Horticolas. Acuncion. Paraguay, 1984. 250 p.
8. Sakaguchi Muzue *Stevia rebaudiana* Bertoni: Unarevisao Atual. II. Seminario Brasileiro sorbo *Stevia rebaudiana* Bertoni. Serio Nakao? Nansuico Kan. San Paulo: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1982. 9 p.
9. Shock Clinton Experimental cultivation of *Rebaundis* *Stevia* in California. Agronomy Progreess Repoet. 1982. № 6. 122 p.
10. Hossain M. F., Islam M. T., Islam M. A., Akhtar S. J. A. F. Cultivation and uses of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni): A review. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, 17(4), 2017. 12745–12757.
11. Роїк М. В., Кузнєцова І. В. Біологічна цінність стевії як сировини для виробництва концентратів. Новітні технології вирощування сільськогосподарських культур. 2012. Вип. 14. С. 146–149.
12. Ruiz-Ruiz J. C., Moguel-Ordonez Y. B., Segura-Campos, M. R. Biological activity of *Stevia rebaudiana* Bertoni and their relationship to health. Critical reviews in food science and nutrition, 57(12), 2017. 2680–2690.
13. Кривко М. Є. Правові проблеми вирощування лікарських рослин сільськогосподарськими виробниками. Сучасні досягнення наук земельного, аграрного та екологічного права, 2013. 112–113.
14. Грицак О. О., Олійник О. О. Використання біотехнологічних методів в розмноженні стевії (*Stevia rebaudiana* Bertoni). VI Міжнародна науково-практична конференція «Біотехнологія: звершення та надії», присвячена до 120-річчя НУБІП України, 46.
15. Кузнєцова І. В. Визначення основних показників пористості листків стевії (*Stevia rebaudiana* Bertoni). Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2014. Вип. 22. С. 32–36.
16. Ahmad J., Khan I., Blundell R., Azzopardi J., Mahomoodally M. F. *Stevia Rebaudiana* Bertoni: an updated review of its health benefits, industrial applications and safety. Trends in Food Science & Technology, 100, 2020. 177–189.
17. Ермантраут Е. Р., Карпук Л. М., та ін.. Методика наукових досліджень в агрономії. 2018. 209 с.
18. Роїк М. В., Кузнєцова І. В. Методичні рекомендації з критеріїв оцінки якості листків стевії (*Stevia rebaudiana* Bertoni) сушеної як сировини для подальшого використання у харчовій промисловості. Дніпропетровськ: Вид. центр «Адверта», 2013. 23 с.
19. Рожков А. О., Пузік В. К., та ін. Дослідна справа в агрономії. Кн. 1: Теоретичні аспекти дослідної справи. 2016. 306 с.

REFERENCES

1. Zavhorodnii V. M. (2006). Optymizatsiia elementiv tekhnologii vyroshchuvannia stevii v Umovakh Lisostepu Ukrainy: avtoref. Dys.. na zdobuttia nauk. Stupienia kand.. s.-h. nauk: spets. 06.01.09 «Roslynnystvo». Kyiv, 26 s.
2. Levchik, N. Ya., et al. (2016). «Osoblyvosti morfolohii ta stressostiosti roslin *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni zalezno vid form ta umov vyroshchuvannia». Faktory eksperimentalnoi evoliutsii orhanizmv.
3. Roik M. V., Kuznietzova I. V. (2015). Stevia v kharchovii promyslovosti: [monohrafiia]. Kyiv: Aharna nauka, 136 s.
4. Kuznietzova I. (2014). Obhruntuvannia systemy kontroliu iakosti lishtia stevii (*Stevia rebaudiana* Bertoni). Visnyk Lvivskoho natsionalnogo ahrarnoho universytetu. Ahronomiia, (18), 217–223.
5. Yadav, A. K., Singh, S., Dhyani, D., Ahuja, P. S. (2011). A review on the improvement of stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni)]. Canadian journal of plant science, 91(1), 1–27.
6. Stefaniuk V. Yi. (2003). Stevia v Ukraini. K.: Trud — HryPol, 102 s.
7. Jordan Molero EL ka-a-hee. (1984). *Stevia rebaudiana* Bertoni. Anflisis Bibliografico Anotaciones Horticolas. Acuncion. Paraguay, 250 p.
8. Sakaguchi Muzue *Stevia rebaudiana* Bertoni: Unarevisao Atual. (1982). II. Seminario Brasileiro sorbo *Stevia rebaudiana* Bertoni. Serio Nakao? Nansuico Kan. San Paulo: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 9 p.
9. Shock Clinton (1982). Experimental cultivation of *Rebaundis* *Stevia* in California. Agronomy Progreess Repoet. № 6. 122 r.
10. Hossain, M. F., Islam, M. T., Islam, M. A., Akhtar, S. J. A. J. F. (2017). Cultivation and uses of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni): A review. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, 17(4), 12745–12757.
11. Roik M. V., Kuznietzova I. V. (2012). Biolohichna tsinnost stevii yak syrovyny dla vyrobnytstva kontsentrativ. Novitni tekhnologii vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur. Vyp. 14. S. 146–149.

12. Ruiz-Ruiz, J. C., Moguel-Ordonez, Y. B., Segura-Campos, M. R. (2017). Biological activity of *Stevia rebaudiana* Bertoni and their relationship to health. Critical reviews in food science and nutrition, 57(12), 2680–2690.
13. Kryvko, M. Ye. (2013). Pravovi problemy vyroshchuvannia likarskykh roslin silskohospodarskymy vyrobnykamy. Suchasni dosiahnennia nauk zemelnoho, ahrarnoho ta ekolohichnogo prava, 112–113.
14. Hrytsak, O. O., Oliynyk, O. O. (2022). Vykorystannia biotekhnolohichnykh metodiv v rozmnozhenni stevii (*Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni). VI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Biotekhnolohiia: zvershennia ta nadii», prysviachena do 120-richchia nubip Ukrainy, 46.
15. Kuznietzova I. V. (2014). Vyznachennia osnovnykh pokaznykyv porystosti lishtiv stevii (*Stevia rebaudiana* Bertoni). Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv. Vyp. 22. S. 32–36.
16. Ahmad, J., Khan, I., Blundell, R., Azzopardi, J., Mahomoodally, M. F. (2020). *Stevia rebaudiana* Bertoni.: an updated review of its health benefits, industrial applications and safety. Trends in Food Science & Technology, 100, 177–189.
17. Ermantraut, E. R., Karpuk, L. M., ta in. (2018). Metodyka naukovykh doslidzhen v ahronomii. 209 s.
18. Roik M. V., Kuznietzova I. V. (2013). Metodychni rekomendatsii z kryteriv otsinky iakosti lishtiv stevii (*Stevia rebaudiana* Bertoni) sushchenykh yak syrovyny dla podalshoho vykorystannia u kharchovii promyslovosti. Dnipropetrovsk: Vyd. tsentr «Adverta», 23 s.
19. Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., ta in. (2016). Doslidna sprava v ahronomii. Kn. 1: Teoretychni aspekty doslidnoi spravy. 306 s.

АНОТАЦІЯ

UDC633.88:581.4

ВПЛИВ ГУСТОТИ СТОЯННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ STEVIA REBAUDIANA

СТЕФАНЮК В.І., ПАВЛІЧЕНКО М.В., ЯЦЕВ Д.О., ФУРСА А.В.

У дослідженні вивчено вплив вихідної густоти стояння (70–110 тис./га) на ріст, продуктивність і біометричні показники стевії в умовах польових експериментів. Встановлено, що збільшення густоти позитивно впливало на висоту та площу листової поверхні рослин, проте надмірне загущення (понад 100 тис./га) призводило до конкуренції за ресурси, що могло знижувати ефективність фотосинтезу.

Оптимальні показники продуктивності досягнуто при густоті 90–100 тис./га, що забезпечувало найбільший урожай сухої маси (до 24,6–30,0 т/га). Зниження густоти до 70–80 тис./га спричиняло зменшення врожайності через меншу кількість пагонів першого порядку та листової маси. Водночас при густоті 110 тис./га спостерігалася стабілізація врожаю через збільшену мікрослину конкуренцію.

Протягом вегетаційного періоду відмічено поступове зниження густоти посівів, особливо у варіантах із меншою початковою щільністю. Найвища виживаність рослин зафіксована у варіантах 100–110 тис./га, що підтверджує їхню стійкість до факторів середовища.

Статистичний аналіз (HSP, $p \leq 6,7$) підтвердив достовірний вплив густоти стояння на основні морфометричні та продуктивні показники. Отримані результати дозволяють рекомендувати густоту 90–100 тис./га як оптимальну для максимального виходу біомаси, а 100–110 тис./га — для вирощування на зелений урожай.

Результати дослідження можуть бути використані при розробці адаптивних агротехнологій вирощування стевії в умовах змінного клімату та різних ґрунтово-кліматичних зон.

Ключові слова: ріст, динаміка, листки, ширина, урожайність

ABSTRACT

UDC633.88:581.4

THE IMPACT OF PLANT DENSITY ON THE PRODUCTIVITY OF STEVIA REBAUDIANA

STEFANIUK V.Y., PAVLICHENKO M.V., YATSEV D.O., FURSA A.V.

The study examined the effect of initial plant density (70–110 thousand plants/ha) on the growth, productivity, and biometric parameters of stevia under field conditions. It was found that increasing density positively influenced plant height and leaf surface area; however, excessive crowding (over 100 thousand plants/ha) led to resource competition, potentially reducing photosynthesis efficiency.

Optimal productivity indicators were achieved at a density of 90–100 thousand plants/ha, ensuring the highest dry mass yield (24.6–30.0 t/ha). Reducing density to 70–80 thousand plants/ha resulted in lower yields due to fewer first-order shoots and reduced leaf biomass. Meanwhile, at 110 thousand plants/ha, yield stabilization was observed due to intensified interplant competition.

During the growing season, a gradual decrease in plant density was noted, particularly in lower-density variants. The highest plant survival rate was recorded in the 100–110 thousand plants/ha variants, confirming their resilience to environmental factors.

Statistical analysis (HSD, $p \leq 6.7$) confirmed the significant impact of plant density on key morphometric and productive parameters. The results suggest that a density of 90–100 thousand plants/ha is optimal for maximizing biomass output, while 100–110 thousand plants/ha is preferable for fresh yield production.

The findings can be applied in the development of adaptive stevia cultivation technologies under changing climate conditions and various soil-climatic zones.

Keywords: Growth, dynamics, leaves, width, yield

БІОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ РОДУ СОРГО (*Sorghum*) ЗАЛЕЖНО ВІД pH СЕРЕДОВИЩА

В. І. ВОЙТОВСЬКА,

кандидат сільськогосподарських наук, с.д.
Інститут біоенергетичних культур і
цукрових буряків

Вступ. Від складу живильного середовища залежить, чи буде успішним культивування клітин, тканин і органів рослин.

Водневий показник pH впливає на формування та роботу білків та їхніх ферментів. Кількість поживних речовин, які рослини можуть використовувати, залежить від того, наскільки кисле чи нейтральне середовище. Кислі або лужні умови обмежують доступність певних елементів, таких як фосфор і залізо, які, як правило, менш розчинні, тим самим перешкоджаючи розвитку рослин *in vitro*. Одночасно з підвищеною кислотністю інші речовини розчиняються й стають шкідливими для експлантів [1–3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковцями встановлено, що за використання з різних середовищ MS з BAP, IAA та Ads додатково змінювали умови pH при вирощуванні *Swertia chirata*. Досліджено pH у межах від 2,8 до 7,8 і типи середовища — рідке та напівтверде. Встановлено, що для проліферації пазушних пагонів *in vitro* найдоцільніше використовувати pH 5,8 і агаризоване середовище. Кількість і довжина пагонів, вирощених *in vitro*, значно змінюються залежно від змін цих факторів [4].

Дослідженнями Лавриненко Ю. і Балашова Г. відмічено, що інтенсивність бульбоутворення істотно залежить від pH живильного середовища. У свої працях ними було досліджено середньоранній сорт картоплі «Невська», яка вирощувалася у культурі *in vitro* за водневого показника від 4,0 до 7,4. Найвищі показники продуктивності та економічної ефективності встановлено за pH=5,3. Визначено, що бульбоутворення було у межах 92,7%, а маса мікробульби становила 667,7 мг. Варіювання pH було відмічено й у масі мікробульб на 1 рослини, яка за оптимального водневого показника була 617,3 мг, а кількість мікробульб — 79,1% [5].

У дослідженнях інших авторів вказується, що pH впливає на зовнішній вигляд рослин та біометричні показники. Так, рослини стевії, які вирощували на середовищі Мурасіге-Скуга з модифікаціями 0,5 дози макро- і мікроелементів із додаванням 200 мг/л мезоінозиту, 30 г/л сахарози, 7,45 г/л агару та різним pH мали різні зміни в рості й розвитку. В якості експлантів використовували листки рослин і отримували із них

регенерацію. Дослідженнями встановлено, що найоптимальнішим було використання pH 5,6–6,0 [6].

У літературних джерелах відмічено й істотний вплив pH середовища для культивування різних штамів бактерій і грибів. Встановлено, що штаму *Bacillus thuringiensis* B-10 (IMB B-7186) найкраще підходить 7,0, а для *Beauveria bassiana* F-6 (IMB F-100043) доцільніше використовувати 6,0–7,0.

Дослідження pH 4,0 вказує на негативний розвиток та пригнічення росту *B. thuringiensis* B-10 і відсутність ендоспор. Збільшення у середовищі pH до 5,0 дозволяє відмітити пригнічення росту на першу добу. Вивчення pH 6,0–8,0 вказує на оптимальний ріст і розвиток. Однак кислотостійкість властива не усім штамам, що вказують проведені дослідження на інших штаммах [7,8].

Дослідженнями, проведеними у культурі *in vitro* арніки гірської на калусах відмічено, що не залежно від виду й складу середовища було збільшення експлантів і набухання тканин. Для досліджень було обрано тверді середовища Мурасіге-Скуга (pH 5,7), Гамборга (pH 5,5), Шенка-Хільдебрандта (pH 5,8), Уайта (pH 5,5). Найоптимальнішим вказано середовище із Гамборга (pH 5,5) [9].

Встановлено вплив pH (4,0, 5,0, 6,0 та 7,0) на особливості росту 12 генотипів люцерни за ознаками: листкова пластинка, епикотиль, гіпокотиль, перший черешок листка, трійчастий черешок листка та свіжа маса кореня й епикотиль, гіпокотиль, перший черешок листа, трійчастий черешок листка і довжина кореня. Значення pH, яке призвело до максимального зростання, змінювалося відповідно до досліджуваного параметра, між 5,0 і 6,0. Генотипи «Вікторія», «Есмеральда», «Кріоула» та «F-708» продемонстрували нейтральність для всіх досліджених значень pH. Результати вказують на те, що на початковий ріст впливає зміна pH у поживному розчині, і що генотипи реагують по-різному [10].

Неправильно підібраний pH у середовищі призводить до пригнічення росту й розвитку рослин, зменшує передачу й використання енергії від кореня до листя та впливає на ефективність використання неорганічних поживних речовин. У цьому дослідженні було досліджено вплив у поєднанні з pH середовища на ріст і розвиток рослин, синтез рослинного пігменту та поглинання поживних речовин у модельній рослині *Petunia hybrida*, культивованій *in vitro*. Перед автоклавуванням pH середовища, затверділого в агарі, доводили до

4,70, 5,70 або 6,70. Найбільша кількість листя спостерігалася при pH 4,70. Однак довжина листя та кореня спостерігалася з pH 5,70. Вміст хлорофілу, каротиноїду та антоціану знижувався зі збільшенням pH середовища, а вміст цих рослинних пігментів позитивно корелював із кольором листя. Найвищий вміст розчинного білка та активності APX і CAT спостерігалися при pH 5,70. Проте активність GPX була найвищою в контролі при pH 4,70. На завершення, коли pH середовища було доведено до 5,70, то було більш сприятливим для росту, а також поглинанню мінеральних поживних речовин рослиною та експресії відповідних генів у листі [11,12].

Проведені досліді павловній *in vitro* вказують, що за комбінування середовищ МК (2/3) та QL (1/3) з pH середовища 5,6–5,8 можливо досягти оптимального результату. Доцільно вказати, що збільшення пасажів із 1 до 5 на кислому (pH 5,2–5,4) та слабо кислому (5,6–5,8) поживних середовищах отримало більшу кількість вітрифікованих пагонів [13,14].

Мета статті — дослідити вплив водневого показника на біометричні показники роду *Sorghum* в культурі *in vitro*.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводили в лабораторії біотехнології Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України.

Для досліджень використовували різні види роду Соргових, пагони *in vitro*, які висаджували на живильне середовище з різним водневим показником (pH 3,0 до 7,0).

Солі макроелементів та мікроелементів застосовували за прописами: Murashige&Skoog (MS). Посуд, матеріали та інструменти і живильні середовища готували відповідно до загальноприйнятих методик [15,16].

Модифіковане живильне середовище автоклаували за 1,5 амперу впродовж 45 хвилин. Здійснювали культивування об'єктів в термальних приміщеннях за температурного режиму $24 \pm 2^\circ\text{C}$, освітленні 3500–4000 лк, відносної вологості 65–70% та фотоперіоді — 16 год.

У якості контрольного варіанту був обраний сорт сорго звичайне (двокольорове) «Степовий 8».

Після вивчення біометричних показників їх пересаджували на безгормональне живильне середовище за прописом Мурасіге і Скуга.

Отриманий цифровий матеріал оброблено відповідно до загальноприйнятих методів, статистичний аналіз експериментальних даних виконували за допомогою відповідним програм і методик [17].

Результати досліджень. У дослідженнях різні види роду Сорго висаджували на живильне середовище з висотою пагонів 3 см. Як вказують дані таблиці 1, за водневого показника всі види і контрольний варіант майже не мали приросту пагонів. Так, на контрольному варіанті висота становила 3,3 см, а на дослідних — 3,0 см. Доцільно відмітити лише сорго суданку, в якій висота складала 3,5 см. Незначну висоту пагонів було відмічено й за рН 3,5 і 4,0; на контрольному варіанті цей показник був 3,7 і 4,1 см, а у дослідних — від 3,0 см до 5,0 см. Найменші показники висоти на усіх варіантах було відмічено у сорго зіничного — 3,0 і 3,5 см. Найвищі показники отриману у сорго суданки — 4,3 см і 5,0 см. Сорго зернове і сориз мали майже однакові показники — 3,3 і 3,5 см та 4,5 і 4,3 см. Із збільшенням рН у поживному середовищі було відмічено й збільшення висоти пагонів. Найоптимальнішим рН для усіх Соргових було виділено на варіантах від 5,5 до 6,0. Так, за додавання рН 5,5 було отримано висоту пагонів від 8,6 см до 17 см, а на контрольному варіанті — 12 см. За рН 6,0 у дослідних варіантах висота варіювала від 9,0 см до 17 см, на контрольному варіанті — 15 см.

Доцільно відмітити, що в усіх варіантах із дослідженнями було відмічено значні переваги висоти сорго суданки порівняно із усіма досліджуваними видами, найменші ж показники — у сорго віничного.

Встановлено, що за рН 6,5 та 7,0 відбувалось різке зниження висоти в усіх видів Сорго та на контрольному варіанті. Так, згідно отриманих даних, видно, що на контрольному варіанті висота була 8,5 см і 6,8 см, а у сорго суданки — 12 і 8,0 см. Найменші показники висоти отримані в сорго зіничного — 6,2 см і 4,1 см. У соризу і сорго зернового відмічено 8,0 і 5,5 см та 7,7 і 6,2 см відповідно (табл. 1).

У дослідженнях були визначено кількість пагонів та вплив на їх формування рН. Встановлено, що за рН 3,0 і 3,5 не відбувалось пагоноутворення в усіх досліджуваних варіантах.

За рН 4,0 було отримано на контрольному варіанті та у сорго зернового й соризу по 1 пагону та 2 шт. у сорго суданки. Сорго віничне за рН 4,0 не формувало додаткові пагоноутворення.

Дослідження рН 4,5 і 5,0 вказують, що на контрольному варіанті отримано 5 і 8 шт. пагонів. У соризу й сорго зернового за цього ж водневого показника сформовано 5 і 7 шт., і 4 і 6 шт. Найнижчі показники в сорго зіничного — 1 і 3 шт. та у сорго суданки — 3 і 4 шт.

Найвищі показники кількості пагонів були відмічені за рН 5,5 і 6,0 в усіх досліджуваних варіантах. Так, на контрольному варіанті кількість становила 16 і 18 шт. У сорго зернового й соризу 12 і 16 шт., та 14 і 16 шт., найменшу кількість визначено у сорго суданки і зіничного — 8 і 9 шт., та 5 і 9 шт.

Як і з висотою так і за кількістю пагонів із збільшенням рН 6,5 і 7,0 відбувалось значне зниження усіх показників. Кількість пагонів на контролі становила 14 і 10 шт., а у всіх інших варіювала від 4 до 13 шт. (табл. 2).

Довжина кореневої системи в досліджуваних видів варіювала залежно від рН у живильному середовищі. Встановлено, що за рН 3,0 не відбувалось ніяких ростових процесів. рН 3,5 і 4,0 вказують на незначну довжину, яка варіювала від 1 до 5 см. Так, за рН 3,5 відмічено довжину 1 см на всіх варіантах, окрім сорго суданки — 2 см. Дослідження рН 4,5 і 5,0 відзначають збільшення від 5 см до 12 см.

При вивченні рН 5,5 і 6,0 доцільно відмітити, що довжина кореневої системи ста-

новила від 11 до 21 см. На контрольному варіанті довжина коренів була 20 і 21 см, найменша — у сорго віничного, 11 і 14 см. Найдовша коренева система отримана в сорго суданки — 18 і 24 см. У сорго зернового й соризу цей показник становив 20 і 22 см та 16 і 18 см. У рН 6,5 і 7,0 зменшення відбулось по довжині, яка варіювала від 21 до 8 см (табл. 3).

Формування кількості коренів у роду Сорго залежно від водневого показника вказує, що існує закономірність така ж, як і в попередніх показниках.

За рН 3,0 не відбувалось ніяких змін та формуванні коренів на всіх досліджуваних варіантах. Доведення у живильному середовищі рН до 3,5 дозволило отрима-

Таблиця 1

Висота пагонів роду Сорго (Sorghum) залежно від водневого показника, см

Культура	рН								
	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Контроль	3,3	3,7	4,1	7,3	9,6	12	15	8,5	6,8
Сорго зернове	3,0	3,3	4,5	7,0	8,9	10	13	8,0	5,5
Сорго віничне	3,0	3,0	3,5	5,7	6,5	8,6	9,0	6,2	4,1
Сориз	3,0	3,5	4,3	7,0	9,0	10	12	7,7	6,2
Сорго суданка	3,5	4,3	5,0	7,8	11	15	17	12	8,0
НІР0,05	0,1	0,3	0,5	0,3	0,8	1,0	0,8	0,6	0,8

Таблиця 2

Кількість пагонів роду Сорго (Sorghum) залежно від водневого показника, шт.

Культура	рН								
	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Контроль	0	0	1	5	8	16	18	14	10
Сорго зернове	0	0	1	4	6	12	16	12	8
Сорго віничне	0	0	0	1	3	5	9	7	4
Сориз	0	0	1	5	7	14	16	13	9
Сорго суданка	0	0	2	3	4	8	9	7	4
НІР0,05	-	-	0,1	0,3	0,8	0,7	1,0	0,8	0,7

Таблиця 3

Довжина коренів роду Сорго (Sorghum) залежно від водневого показника, см

Культура	рН								
	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Контроль	0	1	3	6	11	20	21	18	9
Сорго зернове	0	1	5	8	12	20	22	16	10
Сорго віничне	0	0	3	5	8	11	14	12	8
Сориз	0	1	5	7	9	16	18	15	11
Сорго суданка	0	2	4	8	10	18	24	21	15
НІР0,05	-	0,2	0,5	0,6	0,5	0,9	1,2	0,8	0,6

ти 1 додатковий корінь на контролі в сорго зернового та 2 шт. у сорго суданки й соризу та відсутність такого в сорго віничного. У рН 4,0 і 4,5 вказують на формування на контролі коренів 2 і 5 шт., у сорго зернового — 3 і 6 шт., у сорго віничного — 1 і 4 шт., соризу — 3 і 7 шт. та сорго суданки — 4 і 8 шт. Збільшення коренів помітно за рН 5,0, що становило від 6 шт. до 10 шт.

Найвищі показники із формування кількості коренів отримано за рН 5,5 і 6,0 в усіх варіантах. Так, на контролі було встановлено кількість 12 і 15 шт., та у сорго судан-

ки — 16 і 18 шт. Найменшу кількість встановлено в сорго віничного — 10 і 12 шт. Сориз і сорго зернове мали кількість 14 і 16 шт. та 12 і 16 шт. Встановлено, що за рН 6,5 кількість коренів варіювала від 8 до 15 шт., а за 7,0 — кількість істотно зменшилась від 5 до 8 шт. (табл. 4).

На 7 добу культивування було встановлено кількість рослин, які загинули при клональному мікророзмноженні залежно від водневого показника. Так, за рН 3,0 отримано 100% загинувших рослин на усіх варіантах та видів. Вміст рН 3,5 дозволив отримати

Таблиця 4

Кількість коренів роду Сорго (Sorghum) залежно від водневого показника, шт.

Культура	рН								
	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Контроль	0	1	2	5	9	12	15	10	7
Сорго зернове	0	1	3	6	10	12	16	11	6
Сорго віничне	0	0	1	4	6	10	12	8	5
Сориз	0	2	3	7	10	14	16	12	8
Сорго суданка	0	2	4	8	10	16	18	15	6
НІР0,05	-	0,1	0,3	0,2	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3

Таблиця 5

Кількість рослин роду Сорго (Sorghum), що загинули залежно від водневого показника при клональному мікророзмноженні, %

Культура	рН								
	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
На 7 добу									
Контроль	100	93	81	53	19	8	1	22	67
Сорго зернове	100	90	80	56	27	10	5	25	60
Сорго віничне	100	96	86	69	33	12	10	28	74
Сориз	100	90	83	55	21	6	2	24	70
Сорго суданка	100	92	80	57	17	10	3	23	64
НІР0,05	-	0,3	0,4	0,6	0,8	0,3	0,5	0,2	0,4

Таблиця 6

Кількість рослин роду Сорго (Sorghum), що загинули залежно від водневого показника при укоріненні, %

Культура	рН								
	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
На 7 добу									
Контроль	100	97	80	50	22	6	1	25	77
Сорго зернове	100	95	77	53	27	8	2	12	89
Сорго віничне	100	96	85	63	42	14	3	31	93
Сориз	100	94	83	47	24	8	-	28	81
Сорго суданка	100	90	80	49	28	10	-	22	79
НІР0,05	-	0,3	0,5	0,8	0,3	0,3	0,1	0,7	0,9

від 90 до 96% загинувших пагонів і найменші показники отримано у сорго зернового та соризу. За рН 4,0 відмічено відсоток загинувших від 80 до 86%, найнижчі показники були у сорго зернового й сорго суданки. Кількість рослин із збільшенням водневого показника у середовищі зменшилась за рН 4,5 і становила від 69% до 53%.

Встановлено, що значне зменшення рослин відбувалось на усіх варіантах за рН 5,0 і було від 17 до 33%. У сорго зернового 27%, у сорго віничного — 33%, соризу — 21% та сорго суданки — 17%.

Найменший відсоток загинувших був у варіантах рН 5,5 і 6,0. Так, на контрольному варіанті загинувших було 8 і 1%, у сорго зернового — 10 і 5%, сориз — 6 і 2%, сорго суданка — 10 і 3% і сорго віничне — 12 і 10%.

Дослідження вказують, що за рН 6,5 відсоток загинувших збільшувався від 22 до 28%. Істотне збільшення загинувших відмічено у варіанті із рН 7,0 від 64 до 74% (табл. 5).

Аналізуючи дані при укоріненні рослин, видно, що за рН 3,5 і 4,0 було отримано від 77 до 96% загинувших рослин. На контрольному варіанті цей показник становив 97 і 80%, у сорго зернового — 95 і 77%, у сориз — 94 і 83%, у сорго суданка — 90 і 80% і в сорго віничного — 96 і 85%. У варіанті з водневим показником 3,0 усі рослини загинули.

Встановлено, що за рН 4,5 і 5,0 у контролі загинувших було 50 і 22%, найбільше — в сорго віничного 63 і 42% та найменше — в соризу 47 і 28%.

Найменшу загибель рослин відмічено в досліді із рН 5,5 і 6,0 від 1 до 10%. На контролі за цих варіантів було загинувших 6 і 1%, у сорго суданки і соризу — 8 і 10%, та за рН 6,0 — відсутні загинувші. В сорго зернового було отримано 8 і 2%. У сорго віничного 14 і 3%. За рН 6,5 кількість рослин загинувших збільшилась від 12 до 31% відповідно.

Водневий показник 7,0 негативно впливав на рослини й у контрольному варіанті отримано загинувших 77%, у сорго зернового — 89%, у сориз — 81%, у сорго суданка — 79% і в сорго віничного — 93% (табл. 6).

Висновки. Водневий показник 3,0 і 3,5 негативно впливав на усі біометричні показники та створював загибель більшості рослин на всіх досліджуваних варіантах.

Дослідження вказують, що на всіх варіантах відмічено значні переваги усіх показників сорго суданки порівняно з усіма досліджуваними видами; найменші — у сорго віничного.

Встановлено, що за рН 6,5 та 7,0 відбувалось різке зниження висоти, кількості коренів, довжини в усіх видів Сорго та на контрольному варіанті.

Найвищі показники із формування усіх досліджуваних ростових процесів отримано за рН 5,5 і 6,0 в усіх варіантах.

ЛІТЕРАТУРА:

- Boxma, R. Effect of pH on the behaviour of various iron chelates in sphagnum (moss) peat. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 1981, 12, 755–763.
- Yang, Q., Porter, A. J., Zhang, M., Harrington, D. J., Black, G. W., & Sutcliffe, I. C.. The impact of pH and nutrient stress on the growth and survival of *Streptococcus agalactiae*. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 2012. 102, 277–287.
- Kannan, S. Correlative influence of pH reduction on recovery from iron chlorosis in sorghum varieties. *J. Plant Nutr.* 1980, 2, 507–516.
- Pant, Manu, et al. «Effect of pH and gelling agents in nutrient medium on in vitro shoot multiplication of *Swertia chirata* Buch.-Ham ex Wall: An endangered medicinal herb.» *Materials Today: Proceedings* 73. 2023: 9–12.
- Лавриненко Ю., Балашова Г., Котова О. Культивування рослин картоплі in vitro за мікроклонального розмноження. *Вісник аграрної науки*. 2016. Т. 94. № 11. С. 43–47.
- Swain, N. C., and V. Surendra. «Effect of nutrient media, pH and temperature on in vitro growth of different *Alternaria* isolates.» *Journal of Plant Protection and Environment* 6.1. 2009.: 107–111.
- Ткаченко, О. А. et al. «Ліпідний склад *M. bovis* за тривалого пасажу швидкорослого штаму на щільному живильному середовищі з pH 6,5.» *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*. Том 10 № 2(37) Частина 1, 2009.
- Дрегваль О. А., Черевач Н. В., Вінніков А. І. Підбір оптимальних режимів кислотності середовища та аерації при глибинному культивуванні *Bacillus thuringiensis* і *Beauveria bassiana*. *Вісник Дніпропетр. ун-ту. Біологія. Екологія*. 2010. Вип. Т. 18. С. 15–19.
- Петріна Р. О., Маснюк Я. Т. Калусогенез у культурі in vitro арніки гірської. *Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка»*. Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування. 2008. № 609. С. 151–155.
- Trchounian K. et al. Hydrogen production by *Escherichia coli* growing in different nutrient media with glycerol: effects of formate, pH, production kinetics and hydrogenases involved. *international journal of hydrogen energy*. 2017. Т. 42. № 38. С. 24026–24034.
- Guo, Ge, Jie Xiao, and Byoung Ryong Jeong. «Iron source and medium pH affect nutrient uptake and pigment content in *Petunia hybrida* 'Madness Red' cultured in vitro.» *International Journal of Molecular Sciences* 23.16. 2022: 8943.
- Голубенко А., Цап В. Клональне мікророзмноження рослин *Acorus calamus* L. in vitro. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Інтродукція та збереження рослинного різноманіття*. 2016. № 1. С. 54–56.
- Подгасцький А. А., Мацкевич В., Філіпова, Л., Кравченко Н., & Карпук, Л. Оптимізація технології культивування павловнії (*Paulownia Siebold & Zucc.*) in vitro. *Journal of Native and Alien Plant Studies*, (18), 2022. 191–208. <https://doi.org/10.37555/2707-3114.18.2022.270617>
- Подгасцький, А. А., Мацкевич, В. В., Філіпова, Л. М., & Кравченко, Н. В. Екзогенні детермінанти росту регенерантів павловнії in vitro. *The Scientific Heritage*, (53–2), 2020. С. 5–15.
- Біленька, О. М. Івченко ТВ, Мозговська ГВ, Віцєня ТІ, Баштан НО, Мірошніченко ТМ, Методичні підходи щодо селекції та сучасних технологій розмноження і вирощування батату (*Ipomoea batatas* L.) (методичні рекомендації). Селекційне: ІОБ НААН, 2018.-36 с.
- Біотехнологія: методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 091 «Біологія» / В. В. Андреева, Т. П. Бортник, Ю. Л. Рибак, М. О. Шепелюк. Луцьк, 2022. 47 с.
- Присяжнюк О. І., Климкович Н. М., Полуніна О. В., та ін. Методологія і організація наукових досліджень в сільському господарстві та харчових технологіях. Монографія. Вінниця, ТОВ «Нітлан-ЛТД», 2021. 300с.
- Boxma, R. (1981). Effect of pH on the behaviour of various iron chelates in sphagnum (moss) peat. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 12, 755–763.
- Yang, Q., Porter, A. J., Zhang, M., Harrington, D. J., Black, G. W., & Sutcliffe, I. C. (2012). The impact of pH and nutrient stress on the growth and survival of *Streptococcus agalactiae*. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 102, 277–287.
- Kannan, S. (1980). Correlative influence of pH reduction on recovery from iron chlorosis in sorghum varieties. *J. Plant Nutr.* 2, 507–516.
- Pant, Manu, et al. (2023). «Effect of pH and gelling agents in nutrient medium on in vitro shoot multiplication of *Swertia chirata* Buch.-Ham ex Wall: An endangered medicinal herb.» *Materials Today: Proceedings* 73.: 9–12.
- Lavrynenko Yu., Balashova H., Kotova O. (2016). *Kul'tyuvannia roslin kartopli in vitro za mikrokloналноho rozmnozheniia*. *Visnyk ahronoi nauky*. Т. 94. № 11. С. 43–47.
- Swain, N. C., and V. Surendra. (2009). «Effect of nutrient media, pH and temperature on in vitro growth of different *Alternaria* isolates.» *Journal of Plant Protection and Environment* 6.1.: 107–111.
- Tkachenko, O. A. et al. «Ліпідний склад *M. bovis* за тривалого пасажу швидкорослого штаму на щільному живильному середовищі з pH 6,5.» *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*. Том 10 № 2(37) Частина 1, 2009.
- Dregval O. A., Cherevach N. V., Vinnikov A. I. Підбір оптимальних режимів кислотності середовища та аерації при глибинному культивуванні *Bacillus thuringiensis* і *Beauveria bassiana*. *Вісник Дніпропетр. ун-ту. Біологія. Екологія*. 2010. Вип. Т. 18. С. 15–19.
- Petrina R. O., Masniuk Ya. T. (2008). Kalusohenez u kulturi in vitro arniki hirs'koi. *Visnyk Nats. un-tu «Lvivska politekhnika»*. Serii: Khimiia, tekhnolohiia rechovyn ta yikh zastosuvannia. № 609. S. 151–155.
- Trchounian K. et al. (2017). Hydrogen production by *Escherichia coli* growing in different nutrient media with glycerol: effects of formate, pH, production kinetics and hydrogenases involved. *international journal of hydrogen energy*. Т. 42. № 38. S. 24026–24034.
- Guo, Ge, Jie Xiao, and Byoung Ryong Jeong. (2022). «Iron source and medium pH affect nutrient uptake and pigment content in *Petunia hybrida* 'Madness Red' cultured in vitro.» *International Journal of Molecular Sciences* 23.16.: 8943.
- Holubenko A., Tsap V. (2016). Klonalne mikrorozmnozheniia roslin *Acorus calamus* L. in vitro. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Introduktsiia ta zberezheniia roslinnoho riznomanittia*. № 1. S. 54–56.
- Podhaietskyi A., Matskevych V., Filipova, L., Kravchenko N., & Karpuk, L. (2022). Optymizatsiia tekhnolohii kul'tyuvannia pavlovnii (Paulownia Siebold & Zucc.) in vitro. *Journal of Native and Alien Plant Studies*, (18), 191–208. <https://doi.org/10.37555/2707-3114.18.2022.270617>
- Podhaietskyi, A. A., Matskevych, V. V., Filipova, L. M., & Kravchenko, N. V. (2020). Ekzohenni determinanty rostu rehenerantiv pavlovnii in vitro. *The Scientific Heritage*, (53–2), S.5–15.
- Bilenka, O. M. Ivchenko TV, Mozghovska HV, Vitsenia TI, Bashtan NO, Mirosnychenko TM, Metodychni pidkhody shchodo selektsii ta suchasnykh tekhnolohii rozmnozheniia i vyroshchuvannia batatu (*Ipomoea batatas* L.) (metodychni rekomendatsii). Seleksiine: IOB NAAN, 2018.-36 s.
- Biotehnolohiia: metodychni rekomendatsii do vykonannia laboratornykh robit dlia studentiv spetsialnosti 091 «Biolohiia» / V. V. Andriieva, T. P. Bortnik, Yu. L. Rybak, M. O. Shepeliuk. Luts'k, 2022. 47 s.
- Prisiazhniuk O. I., Klymovych N. M., Polunina O. V., ta in. Metodolohiia i orhanizatsiia naukovykh doslidzhen v sil'skomu hospodarstvi ta kharchovykh tekhnolohiakh. Monohrafiia. Vinnytsia, TOV «Nitlan-LTD», 2021. 300s.

АНОТАЦІЯ

UDC633.174:631.547

БІОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ РОДУ СОРГО (*Sorghum*) ЗАЛЕЖНО ВІД pH СЕРЕДОВИЩА

В. І. ВОЙТОВСЬКА.

Мета. У статті представлені результати досліджень впливу pH середовища на біометричні показники рослин роду Сорго (*Sorghum*). Досліджено вплив водневого показника на висоту рослин і визначено, що найвищі показники були в сорго суданки, а найменші — в сорго віничного. **Результати.** Встановлено, що за pH 6,5 та 7,0 відбувалося різке зниження всіх біометричних показників у всіх видів Сорго та на контрольному варіанті. Вивчено кількість коренів і їх довжину залежно від pH 3,0 і 3,5 та визначено, що вони негативно впливають на ці показники. Встановлено, що найоптимальнішими pH для усіх Соргових видів варіанти від 5,5 до 6,0.

Ключові слова: водневий показник, in vitro, висота, довжина пагонів, укорінення.

ABSTRACT

UDC633.174:631.547

BIOMETRIC INDICATORS OF THE GENUS SORGHUM (*Sorghum*) DEPENDING ON THE pH OF THE ENVIRONMENT

V. I. VOITOVSKA

The article presents the results of research into the effect of pH on the biometric parameters of *Sorghum* plants. The influence of the hydrogen index on the height of plants was studied and it was determined that the highest indicators were in Sudanese sorghum, and the lowest in sorghum. It was established that at pH 6.5 and 7.0 there was a sharp decrease in all biometric indicators in all types of sorghum and in the control variant. The number of roots and their length depending on pH 3.0 and 3.5 were studied and it was highlighted that they have a negative effect on these indicators. It was established that the most optimal pH for all sorghums was selected from 5.5 to 6.0.

Key words: hydrogen index, in vitro, height, shoot length, rooting.

УДК: 579.262: <https://doi.org/10.47414/be.2025.No1.pp.43-45>

ЕФЕКТ СИМБІОЗУ ГРИБІВ І БАКТЕРІЙ З КОРЕНЕВОЮ СИСТЕМОЮ РОСЛИН СОНЯШНИКУ

САБЛУК В.Т.

доктор с.-г. наук, професор
Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН, 03110, вул.
Клінічна 25, м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6124-4346>

КОЖУХІВСЬКИЙ Р.М.,

аспірант
Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН, 03110, вул.
Клінічна 25, м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0004-8687-6464>

Постановка проблеми. Симбіотичні взаємовідносини грибів і бактерій з кореневою системою сільськогосподарських культур є важливим напрямом у підвищенні їхньої врожайності та покращенні якості отриманої продукції. Серед цих мікроорганізмів особливе місце відводиться грибам арбускулярної мікоризи (АМ) та азотфіксуючим і фосфатмобілізуючим бактеріям, використання яких сприяє істотному поліпшенню росту та розвитку рослин за рахунок покращеного забезпечення їх вологою й елементами живлення. Зокрема, мікоризоутворюючі гриби сприяють збільшенню порівняно з їх відсутністю поглинальної здатності кореневої системи, а бактерії виділяють у ґрунт фізіологічно активні сполуки, які поліпшують засвоєння рослинами елементів живлення.

За даними ряду дослідників використання біопрепарату «Мікофренд» у технології вирощування сільськогосподарських культур, у складі якого є симбіотичні мікроорганізми, сприяє покращенню росту та розвитку рослин і підвищенню їхньої продуктивності. Зокрема, встановлено, що за цієї умови в рослин значно зростає, порівняно з контролем, обводненість листків, їх площа та маса кореневої системи, що, в свою чергу, сприяє підвищенню врожайності та покращенню якості отриманої продукції.

Окрім цих позитивних фактів ефект симбіозу грибів і бактерій з кореневою системою рослин полягає також у покращенні якості ґрунту, що особливо важливо за умов зміни клімату та недостатнього, порівняно з потребою, внесення в нього органічних добрив.

Мета. Встановити ефект симбіозу грибів і бактерій з кореневою системою рослин соняшнику задля поліпшення їх росту та розвитку й підвищення вро-

жайності насіння цієї культури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур у світі широко використовують симбіотичні мікроорганізми, які сприяють поліпшенню живлення рослин та покращенню якісних показників ґрунту [1].

Серед цих мікроорганізмів особливе місце відводиться грибам із родів *Glomus* і *Trichoderma*, які сприяють збільшенню поглинальної здатності кореневої системи та бактерій із родів *Bacillus*, *Pseudomonas* та ін., які покращують живлення рослин [2].

У роботах ряду дослідників [3, 4] важлива роль у формуванні продуктивності сільськогосподарських культур і лісових насаджень відводиться мікоризації кореневої системи грибами, завдяки чому значно підвищується посухостійкість рослин. У деяких наукових працях багато уваги приділяється використанню грибів із роду *Trichoderma* для підвищення продуктивності окремих сільськогосподарських культур. Зокрема, у дослідженнях Д. Шерстюка і І. Дерев'янка [5] робиться наголос на те, що застосування біопрепаратів, створених на основі грибів цього роду як альтернативи мінеральним добривам, сприяє підвищенню продуктивності ярого ячменю, що відповідає вимогам збереження щодо збереження довкілля від забруднення хімічними сполуками. Так само про ефективне використання симбіозу грибів і бактерій з кореневою системою рослин гороху

вказується у праці Н. В. Телекало [6], завдяки чому покращується ріст та розвиток рослин і підвищується їхня продуктивність. У науковій праці Ж. З. Гуральчука, А. М. Сичука і О. В. Гуменюка [7] робиться акцент на важливість використання арбускулярного мікоризного симбіозу як антистресового фактору за використання у технологіях вирощування сільськогосподарських культур гербіцидів. А в науковій праці С. Г. Димитрова, В. Т. Саблука та ін. [8] вказується, що за мікоризації кореневої системи сільськогосподарських культур грибами та її симбіозу з бактеріями знижується ураженість рослин хворобами. Про це також вказується в науковій праці Димитрова С. Г. та ін. [9], у якій робиться наголос на те, що за використання мікоризоутворюючих препаратів знижується ураженість рослин пшениці озимої такими небезпечними хворобами, як септоріоз на листках і колосі, бура листової іржа та борошниста роса.

Таким чином, у літературних джерелах використанню ефекту симбіозу грибів і бактерій з кореневою системою рослин сільськогосподарських культур приділяється багато уваги й вказується на те, що завдяки його застосуванню покращується ріст і розвиток рослин та підвищується їхня продуктивність.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводились в умовах Веселоподільської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН у 2023–2024 рр. у відповідності з «Основами наукових досліджень

Таблиця 1

Площа листової поверхні рослин соняшнику за симбіозу грибів і бактерій з його кореневою системою ВПДСС, 2023-2024 рр.

№ з/ч	Назва гібрида	Терміни вегетації, діб	Площа листової поверхні, тис. м2/га		± до контролю	
			контроль	Мікофренд	тис м2/га	%
1	Хайсан 228	30	4,0	4,5	0,9	22,5
		60	54,6	69,0	14,4	21,3
		90	58,3	82,0	23,7	40,6
2	Хайсан 254	30	3,9	4,8	1,0	25,6
		60	60,8	74,6	13,8	22,7
		90	64,9	88,1	23,2	35,7
3	Хайсан 280	30	3,5	4,4	0,9	24,8
		60	53,1	67,4	14,2	26,8
		90	56,5	80,0	23,6	41,7
P-level		-	0,01	0,01	-	

в агрономії» [10]. Площа облікової ділянки — 50 м², повторність — 3-х разова.

У дослідях використовували біопрепарат «Мікофренд», створений на основі грибів *Glomus VS* і *Trichoderma harzianum* L. та бактерій із родів *Bacillus*, *Pseudomonas* та ін., який змішували з насінням соняшнику за 1–2 дні до висівання 3-х сучасних гібридів цієї культури — «Хайсан 228», «Хайсан 254», «Хайсан 290» з нормою витрати 5 кг/т. У дослідях визначали вплив біопрепарату на площу листової поверхні, фотосинтетичний потенціал, продуктивність фотосинтезу та врожайність насіння.

Результати досліджень. Фотосинтез є найголовнішою ланкою в процесі, який призводить до первинного утворення органічної речовини. В даному процесі головна роль відводиться листкам рослин, їх площі. Враховуючи те, що листки соняшнику великі й на кожній рослині їх формується від 15 до 35 шт. залежно від терміну онтогенезу, площа їх поверхні також різна. В наших дослідях у 30-денний період вегетації рослин вона у варіантах з препаратом «Мікофренд» була більшою за контроль на 22,5–25,6% залежно від гібриду, а у віці рослин у 60 і 90 днів, відповідно, на 21,3–24,8 і 35,7–41,7% (табл. 1).

Особливо помітною є різниця даного показника в більш пізній період вегетації рослин. Зокрема, на 90-й день росту та розвитку рослин вона була більшою ніж у 30-и і 60-и денному віці, відповідно, на 11,4–16,9% і 12,9–14,9%. Пояснити даний факт можна тим, що зі збільшенням терміну онтогенезу маса міцелію грибів зростає, порівняно з початковими періодами росту та розвитку рослин (30 і 60 днів), і за рахунок цього покращується їхнє вологозабезпечення та живлення, що сприяє інтенсивнішому проходженню у них ростових процесів порівняно з контролем.

У технології вирощування соняшнику важливе значення має не тільки величина площі листків, а й тривалість роботи асиміляційної поверхні. Для цього користуються умовною одиницею, що має назву фотосинтетичний потенціал (ФП), який виражає суму щоденних показників площі листків на одиниці площі посіву. В наших дослідях ФП рослин соняшнику в різні терміни вегетації рослин був різний і коливався у дослідних варіантах з препаратом «Мікофренд» від 0,09 до 2,18 млн. м² днів/га, що перевищувало показники контролю на 25,0–63,9%. Найбільша різниця в цих показниках була у 90-денному віці рослин, яка становила 57,1–63,9% (табл. 2).

Відповідно, вищою, порівняно

з контролем, була продуктивність фотосинтезу рослин цієї культури в дослідних варіантах.

Зокрема, у 90-денному періоді їх вегетації вона переважала показники контролю на 56,0–57,3%, (табл. 3).

Урожайність сільськогосподарських культур є підсумком комплексного впливу на його формування всіх структурних

елементів росту та розвитку рослин, особливо — інтенсивності фотосинтезу. Останнє, в свою чергу, залежить від таких складових, як площа листової поверхні, фотосинтетичного потенціалу й продуктивності фотосинтезу та впливу на них різних факторів, у тому числі симбіозу грибів і бактерій з їх кореневою системою. В проведених до-

Таблиця 2

Фотосинтетичний потенціал рослин соняшнику у різні терміни їх вегетації за використання біопрепарату «Мікофренд», ВПДСС, 2024 р.

№ з/ч	Назва гібрида	Терміни вегетації, діб	Фотосинтетичний потенціал, млн. м2 днів/га		+- до контролю	
			контроль	Мікофренд	млн. м2днів /га	%
1	Хайсан 228	30	0,07	0,10	0,03	42,9
		60	1,11	1,40	0,29	26,1
		90	1,24	2,02	0,78	57,1
2	Хайсан 254	30	0,08	0,12	0,04	50,0
		60	1,20	1,50	0,3	25,0
		90	1,33	2,18	0,85	63,9
3	Хайсан 280	30	0,06	0,09	0,03	50,0
		60	1,08	1,36	0,28	25,9
		90	1,21	1,97	0,76	62,8
P-level		-	0,05	0,05	-	-

Таблиця 3

Продуктивність фотосинтезу рослин соняшнику у різні терміни їх вегетації за використання біопрепарату «Мікофренд», ВПДСС, 2024 р.

№ з/ч	Назва гібрида	Терміни вегетації, діб	Продуктивність фотосинтезу, г/м2 за добу		+ - до контролю	
			контроль	Мікофренд	г/ м2 за добу	%
1	Хайсан 228	30	0,10	0,15	0,05	50,0
		60	0,65	0,95	0,3	46,2
		90	0,84	1,32	0,48	57,1
2	Хайсан 254	30	0,12	0,17	0,05	41,7
		60	0,71	1,02	0,31	43,7
		90	0,91	1,42	0,51	56,0
3	Хайсан 280	30	0,09	0,14	0,05	55,5
		60	0,63	0,93	0,3	47,6
		90	0,82	1,29	0,47	57,3
P-level		-	0,02	0,02	-	-

Таблиця 4

Урожайність насіння соняшнику за використання біопрепарату «Мікофренд», ВПДСС, 2024 р.

№ з/ч	Назва гібрида	Урожайність насіння соняшника, т/га		± до контролю	
		контроль		т/га	%
1	Хайсан 228	2,22	0,63	0,63	28,3
2	Хайсан 254	2,56	0,84	0,84	32,8
3	Хайсан 280	2,15	0,62	0,62	28,8

слідях використання біопрепарату «Мікофренд» сприяло отриманню врожаю насіння соняшнику на 28,3–32,8% більше, ніж на контролі (табл. 4)

Така помітна прибавка врожайності насіння цієї культури, порівняно з контролем, за використання симбіозу грибів і бактерій з її кореневою системою заслуговує на особливу увагу товаровиробників як важливого резерву для збільшення виробництва сільськогосподарської продукції з мінімальними

затратами економічних ресурсів і збереженні довкілля від забруднення хімічними сполуками різного походження.

Висновки. Використання симбіозу грибів і бактерій з кореневою системою соняшнику сприяє покращенню, порівняно з контролем, таких елементів росту та розвитку рослин цієї культури як наростання площі листової поверхні, підвищення фотосинтетичного потенціалу та продуктивності фотосинтезу. Зокрема, у варіантах з біопрепаратом

«Мікофренд», у складі якого є гриби й бактерії, площа листової поверхні рослин соняшнику була більшою за контроль на 22,5–41,7% залежно від терміну вегетації рослин, фотосинтетичний потенціал переважав показники контролю в 90-денному віці рослин на 57,1–63,9%, а продуктивність фотосинтезу — на 56,0–57,3%, що, в свою чергу, сприяло отриманню врожаю насіння цієї культури на 28,3–32,8% більше, ніж на контролі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вовкогон В.В., Надкернична О.В., Ковалевська Т.М та ін. Мікробні препарати у землеробстві. Теорія і практика: Монографія. За ред. В.В. Волкогона. К.: Аграрна наука, 2006. 312 с.
2. Smith, S. E. Mycorrhizal symbiosis. Read. 3rd ed. London: Academic Press, 2008. 845 p.
3. Trichera A., Testani E., Roccuzzo G. et al. Agroecological Service Crops drive Plant Mycorrhization in Organic Horticultural Systems. *Microorganisms*. 2021. Vol.9, Iss. 2. Article 409. doi: 10.3390/microorganisms9020410
4. Kough J. L., Molina R., Linderman R. G. 1985. Mycorrhizal responsiveness of Thuja, Calocedrus, Sequoia, and Sequoiadendron species of Western North America. Kough J.L, Molina R., Linderman R.G./Canadian Journal Forest Research. 1985. P. 1049–1054/
5. Шерстюк Д.Д., Дерев'янко І.О. Вплив біопрепарату на основі грибів TRICHODERMA на врожайність ячменю ярого (огляд літератури) [Текст] / Д.Д. Шерстюк, І.О. Дерев'янко // Аграрна просвіта та наука: досягнення і перспективи розвитку: матеріали III Міжнарод. наук.-практ. конф., присвяч. видатним вченим Васильківському С.П. і Молоцькому М.Я.—засн. наук. школи з селекції та насінництва пшениці і картоплі та 100-річчю з часу заснування Агробіотехнол. (Агрон.) ф-ту, м. Біла Церква, 30–31 берез. 2022 р.— 2022.— С. 55–57
6. Телекало Н.В., Удосконалення технологічних прийомів вирощування гороху посівного. НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «Напрями досліджень в аграрній науці: стан та перспективи», 5–6 листопада 2020 р., м. Вінниця
7. Гуральчук Ж.З., Сичук А.М., Гуменюк О.В. Вплив гербіцидів на рослини у зв'язку з формуванням арбускулярного мікоризного симбіозу. Фактори експериментальної еволюції організмів. 2018. Т. 23. С. 369–373.
8. Димитров С.Г., Саблук В.Т., Танчик С.П. Зниження ураженості рослин сільськогосподарських культур хворобами за мікоризації грибами та симбіозу з азотфіксуючими бактеріями їх кореневої системи, Аграрні інновації, Одеса № 10, 2021, с. 29–33.
9. Dymyrov, S. H., Sabluk, V. T., Tyshchenko, M. V., & Smirnykh, V. M.. Мікоризоутворюючі препарати та їхній симбіоз із рослинами пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.). Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків, 2021 (27), 51–61
10. Мойсейченко В.Ф., Єщенко В.О. Основи наукових досліджень в агрономії. К.: Вища школа, 1994. 333 с.

REFERENCES

1. Vovkohon, V. V., Nadkernychna, O. V., Kovalevska, T. M., et al. (2006). Microbial preparations in agriculture: Theory and practice (Monograph). Edited by V. V. Vovkohon. Kyiv: Agrarian Science.
2. Smith, S. E. (2008). Mycorrhizal symbiosis (3rd ed.). London: Academic Press.
3. Trichera, A., Testani, E., Roccuzzo, G., et al. (2021). Agroecological service crops drive plant mycorrhization in organic horticultural systems. *Microorganisms*, 9(2), Article 409. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9020410>
4. Kough, J. L., Molina, R., & Linderman, R. G. (1985). Mycorrhizal responsiveness of Thuja, Calocedrus, Sequoia, and Sequoiadendron species of Western North America. *Canadian Journal of Forest Research*, 15, 1049–1054.
5. Sherstiuk, D. D., & Derevianko, I. O. (2022). Influence of a Trichoderma-based biopreparation on barley yield: A literature review. *Agrarian Education and Science: Achievements and Development Prospects, Materials of the III International Scientific-Practical Conference*, Bila Tserkva, March 30–31, pp. 55–57.
6. Telekalo, N. V. (2020). Improvement of technological approaches to pea cultivation. *Scientific-Practical Conference: Directions of Research in Agricultural Science: State and Perspectives*, Vinnytsia, November 5–6.
7. Huralchuk, Z. Z., Sichuk, A. M., & Humeniuk, O. V. (2018). Influence of herbicides on plants in connection with the formation of

arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Factors of Experimental Evolution of Organisms*, 23, 369–373.

8. Dymyrov, S. H., Sabluk, V. T., & Tanchyk, S. P. (2021). Reduction in the incidence of agricultural crops due to mycorrhization with fungi and symbiosis with nitrogen-fixing bacteria in their root system. *Agrarian Innovations*, 10, 29–33.

9. Dymyrov, S. H., Sabluk, V. T., Tyshchenko, M. V., & Smirnykh, V. M. (2021). Mycorrhiza-forming preparations and their symbiosis with bread winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets*, 27, 51–61.

10. Moiseichenko, V. F., & Yeshchenko, V. O. (1994). *Fundamentals of scientific research in agronomy*. Kyiv: Higher School.

АНОТАЦІЯ

Ефект симбіозу грибів і бактерій з кореневою системою рослин соняшнику

Саблук В.Т., Кожухівський Р.М.

Мета. Встановити ефект симбіозу грибів і бактерій з кореневою системою рослин соняшнику задля поліпшення їх росту та розвитку і підвищення продуктивності цієї культури. **Методи.** Польові, лабораторні, статистичні. **Результати.** Встановлено, що симбіоз грибів і бактерій з кореневою системою рослин соняшнику сприяє значному поліпшенню їх росту та розвитку й підвищенню продуктивності. Зокрема, за використання біопрепарату «Мікофренд», у складі якого є гриби із родів *Glomus* і *Trichoderma* та бактерії із родів *Bacillus*, *Pseudomonas* та ін., площа листової поверхні рослин соняшнику переважала контроль, залежно від терміну вегетації рослин на 21,8–41,7%, фотосинтетичний потенціал і продуктивність фотосинтезу також були більшими від показників контролю, відповідно, на 25,0–62,8% і 41,7–57,3%. У свою чергу, це позначилося на врожайності насіння даної культури, яка у варіантах з біопрепаратом «Мікофренд» була вищою за контроль на 28,3–32,8%.

Така помітна прибавка врожайності насіння соняшнику, порівняно з контролем, за використання симбіозу грибів і бактерій з кореневою системою рослин цієї культури заслуговує на особливу увагу товаровиробників як важливого резерву задля збільшення виробництва сільськогосподарської продукції з мінімальними витратами економічних ресурсів і збереженні довкілля від забруднення хімічними сполуками різного походження. Останнє відповідає вимогам Європейського Зеленого курсу та Міжнародної конвенції про збереження біорізноманіття.

ABSTRACT

Effect of symbiosis between fungi and bacteria with the root system of sunflower

Sabluk V. T., Kozhukhivskiy R. M.

Purpose. To determine the effect of symbiosis between fungi and bacteria with the root system of sunflower on their growth, development, and productivity. **Methods.** Field, laboratory, and statistical. **Results.** It was established that the symbiosis between fungi and bacteria with the root system of sunflower plants significantly improves their growth and development, as well as increases productivity. In particular, with the use of the biopreparation "Mikofrend", which contains fungi of the genera *Glomus* and *Trichoderma* and bacteria of the genera *Bacillus*, *Pseudomonas*, and others, the leaf area of sunflower plants exceeded the control depending on the vegetation period by 21.8–41.7%. The photosynthetic potential and photosynthesis productivity were also higher than in the control by 25.0–62.8% and 41.7–57.3%, respectively. In turn, this affected the seed yield of sunflower, which in the treatments with "Mikofrend" was 28.3–32.8% higher than in the control. Such a noticeable increase in sunflower seed yield compared to the control deserves special attention from producers as an important reserve for increasing agricultural production with minimal economic resource expenditures and preserving the environment from pollution by chemical compounds of various origins. This aligns with the requirements of the European Green Deal and the International Convention on Biodiversity Conservation.

