

JOURNAL OF APPLIED RESEARCH VOL. 19, No 3 '2023

PLANT VARIETIES STUDYING

AND PROTECTION

PRINT ISSN 2518-1017
ONLINE ISSN 2518-7457

VARIETY STUDYING
AND VARIETY SCIENCE

PLANT OF PHYSIOLOGY

PLANT PRODUCTION

BIOTECHNOLOGY
AND BIOSAFETY

Журнал — фаховий

Наказ МОН України № 975 від 11 липня 2019 р.
(сільськогосподарські та біологічні науки)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

С. М. Каленська (головний редактор)

Д. Б. Рахметов (заступник головного редактора)

В. І. Файт (заступник головного редактора)

С. І. Мельник (шеф-редактор)

Н. В. Лещук (відповідальний секретар)

М. З. Антонюк

Б. Барнабас (Угорщина)

Я. Бріндза (Словацька Республіка)

Р. А. Вожегова

Н. Е. Волкова

О. В. Галаєв

Б. В. Дзюбецький

О. В. Дубровна

Є. Л. Кордюм

В. М. Меженський

В. В. Моргун

О. І. Моргунов (Туреччина)

Л. М. Присяжнюк

О. І. Присяжнюк

О. І. Рибалка

Р. Роса (Республіка Польща)

В. М. Соколов

Б. В. Сорочинський

С. М. Хоменко

С. В. Чеботар

В. Ю. Черчель

В. В. Швартау



УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ЕКСПЕРТИЗИ СОРТІВ РОСЛИН

СЕЛЕКЦІЙНО-ГЕНЕТИЧНИЙ
ІНСТИТУТ – НАЦІОНАЛЬНИЙ ЦЕНТР
НАСІННЄЗНАВСТВА
ТА СОРТОВИВЧЕННЯ НААН
ІНСТИТУТ ФІЗІОЛОГІЇ РОСЛИН
І ГЕНЕТИКИ НАН УКРАЇНИ

Журнал виходить чотири рази на рік
Заснований у 2005 р.

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ 21882–11782ПР
від 23.02.2016

За достовірність викладених
у публікаціях фактів відповідають
автори

Рекомендовано до друку

Вченою радою Українського інституту
експертизи сортів рослин
(Протокол № 15 від 20.09.2023)

Адреса редакційної колегії:

Український інститут
експертизи сортів рослин,
вул. Генерала Родимцева, 15,
м. Київ, 03041, Україна

<http://journal.sops.gov.ua>
e-mail: journal@sops.gov.ua
Тел.: +38 044 290-40-45

Науковий редактор Б. В. Сорочинський
Технічний редактор О. Ю. Половинчук
Літературний редактор А. І. Сидорчук
Комп'ютерне верстання А. І. Бойко

Підписано до друку 25.09.2023
Формат 60×84 1/8. Папір офсетний.
Ум.-др. арк.
Наклад 50 прим. Зам.

Друкарня
ТОВ «ТВОРИ»
вул. Немирівське шосе, 62а,
м. Вінниця, 21034, Україна
Тел.: 0(800) 33-00-90
e-mail: info@tvoru.com.ua
<http://www.tvoru.com.ua>

Передплатний індекс 89273
ISSN 2518–1017

Мова видання:
українська, англійська

© Український інститут експертизи
сортів рослин, оформлення, оригінал-
макет, 2023

© Селекційно-генетичний інститут –
Національний центр насіннєзнавства
та сортівивчення, 2023

© Інститут фізіології рослин і генетики
НАН України, 2023

Journal – specialized publications

Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine
No. 975 as of July 11, 2019
(agricultural and biological sciences)

EDITORIAL BOARD

S. Kalenska (Head editor)

D. Rakhmetov (Deputy leading editor)

V. Fait (Deputy leading editor)

S. Melnyk (Editor-in-Chief)

N. Leshchuk (Executive Secretary)

M. Antonyuk

B. Barnabas (Hungary)

J. Brindza (Slovak Republic)

R. Vozhehova

N. Volkova

O. Halaiev

B. Dziubetskyi

O. Dubrovna

Y. Kordium

V. Mezhenskyi

V. Morhun

A. Morgunov (Turkey)

R. Rosa (Poland)

L. Prysiazhniuk

O. Prysiazhniuk

O. Rybalka

V. Sokolov

B. Sorochynskyi

S. Khomenko

S. Chebotar

V. Cherchel

V. Shvartau



UKRAINIAN INSTITUTE FOR PLANT
VARIETY EXAMINATION

PLANT BREEDING & GENETICS
INSTITUTE – NATIONAL CENTER
OF SEEDS AND CULTIVAR
INVESTIGATION

INSTITUTE OF PLANT PHYSIOLOGY
AND GENETICS, NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF UKRAINE

Published 4 times a year

Founded in 2005

State registration certificate
KB 21882–11782П of 23.02.2016

The authors are responsible for the
reliability of the information in the
materials published in the Journal

Recommended for publication by
Academic Board of the Ukrainian
Institute for Plant Variety Examination
(Record No. 15, Sept. 20, 2023)

Editorial Board contacts:
Ukrainian Institute for Plant Variety
Examination,
15 Henerala Rodymtseva St.,
Kyiv 03041, Ukraine

<http://journal.sops.gov.ua/>
e-mail: journal@sops.gov.ua
Phone: +38 044 290-40-45

Science editor	B. V. Sorochynskyi
Technical editor	O. Yu. Polovynchuk
Literary editor	A. I. Sydorчук
Computer-aided makeup	A. I. Boyko

Signed to print 25.09.2023
Format 60×84 1/8. Offset Paper.
Conventional printed sheet.
50 numbers of copies.

Printing office
LLC «TVORY»
62a Nemyrivske highway
Vinnytsia 21034, Ukraine
Phone: 0(800) 33-00-90
e-mail: info@tvoru.com.ua
<http://www.tvoru.com.ua>

Ukrainian subscription index
of the print version: 89273
ISSN 2518–1017

Languages of publication:
Ukrainian, English

© Ukrainian Institute for Plant Variety
Examination, formatting, makeup, 2023

© Plant Breeding & Genetics Institute –
National Center of Seeds and Cultivar
Investigation, 2023

© Institute of Plant Physiology and
Genetics, National Academy of Sciences
of Ukraine, 2023

ЗМІСТ

СОРТОВИВЧЕННЯ ТА СОРТОЗНАВСТВО

Кириленко В. В., Гуменюк О. В., Судденко Ю. М.,
Заїма О. А., Лось Р. М., Хоменко Т. М.

Вплив попередників та строків сівби
на врожайність сортів *Triticum aestivum* L.
в умовах Центрального Лісостепу України

141

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

Лашук С. О.

Оцінка селекційного матеріалу за морфо-цитологічними
особливостями генеративних органів рослин
роду *Miscanthus*

148

РОСЛИННИЦТВО

Кирильчук А. М., Ляшенко С. О., Безпрозвана І. В.,
Чухлеб С. Л., Щербиніна Н. П., Шкляр В. Д.

Продуктивність і якість зерна сортів тритикале озимого
(*Triticosecale* Wittmack el. Camus)
за різних ґрунтово-кліматичних умов вирощування

155

Попова О. П., Кулик М. І.

Формування врожайності та енергетичний потенціал
біомаси *Sorghum saccharatum* (L.) Moench
в умовах Центрального Лісостепу України

168

Правдива Л. А., Ганженко О. М., Гончарук Г. С.

Енергетична продуктивність сорго звичайного
двокольорового [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] і соризу
(*S. orysoïdum*) залежно від методів контролювання
чисельності бур'янів

176

Топчій О. В., Смутьська І. В., Орленко О. Б.,
Хоменко Т. М., Довбаш Н. І., Руденко О. А.

Особливості формування продуктивності
високоолеїнових сортів соняшнику однорічного
Helianthus annuus L.

185

БІОТЕХНОЛОГІЯ ТА БІОБЕЗПЕКА

Міщенко С. В., Кривошеєва Л. М.,
Лавриненко Ю. В., Марченко Т. Ю.

Вплив типу експланта та сорту *Linum usitatissimum* L.
convar. *elongatum* на інтенсивність
калюсо- й органогенезу в умовах *in vitro*

195

CONTENTS

VARIETY STUDYING AND VARIETY SCIENCE

Kyrylenko V. V., Humeniuk O. V., Suddenko Yu. M.,
Zaima O. A., Los R. M., Khomenko T. M.

Influence of preceding crops and sowing date
on the yield of varieties of *Triticum aestivum* L.
under the conditions of the central Forest-Steppe
of Ukraine

PLANT OF PHYSIOLOGY

Lashuk S. O.

Evaluation of breeding material on the basis
of morphological and cytological characteristics
of the reproductive organs of plants
of the genus *Miscanthus*

PLANT PRODUCTION

Kyrylchuk A. M., Liashenko S. O., Bezprozvana I. V.,
Chukhleb C. L., Shcherbynina N. P., Shkliar V. D.

Productivity and grain quality of winter triticale varieties
(*Triticosecale* Wittmack el. Camus) under different soil
and climatic growing conditions

Popova O. P., Kulyk M. I.

Yield formation and energy potential
of *Sorghum saccharatum* (L.) Moench biomass under
the conditions of the central Ukrainian Forest-Steppe

Pravdyva L. A., Hanzhenko O. M., Honcharuk H. S.

Productivity of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]
and soryz (*S. orysoïdum*) depending on methods
of weed control

Topchii O. V., Smulska I. V., Orlenko O. B.,
Khomenko T. M., Dovbash N. I., Rudenko O. A.

Characteristics of the formation of productivity
of high oleic varieties of the common sunflower
Helianthus annuus L.

BIOTECHNOLOGY AND BIOSAFETY

Mishchenko S. V., Kryvosheeva L. M.,
Lavrynenko Yu. V., Marchenko T. Yu.

Influence of explant type and genotype
of *Linum usitatissimum* L. convar. *elongatum*
on callus intensity and organogenesis *in vitro*

100-річчя формування національних сортових рослинних ресурсів України

У вересні 2023 року в Україні відзначають 100-річний ювілей із Дня заснування державного сортовипробування. Зароджена у 1923 році державна сортовипробувальна мережа впродовж віку динамічно трансформувалася від започаткованої Всеукраїнської спілки насінництва до створених у 2002 році Державної служби з охорони прав на сорти рослин та Українського інституту експертизи сортів рослин.

Зроблено багато, пройдено непростий тернистий шлях, досвід минулого дає усі підстави проаналізувати його та окреслити напрями подальшого розвитку сортовипробувальної мережі. Перед нами стоять важливі для України виклики на шляху до інтеграції в Європейський Союз, що потребує швидкого реагування на зміни, та впровадження нових інструментів оцінювання сортів.

Наразі головними завданнями аграрної політики залишаються збільшення виробництва та покращення якості продукції рослинництва, розширення та оновлення сортових рослинних ресурсів, які визначають продовольчу безпеку держави та можуть бути використані в подальшому селекційному процесі.

Маю честь щиро привітати із 100-річним ювілеєм сортовипробувачів різних поколінь, усіх, хто дотичний до формування національних сортових рослинних ресурсів. Сьогодні, у складний для держави час ви даєте путівку



сортів у життя, забезпечуєте своєчасне якісне формування ринку сортів і насіння.

Перемоги нам, миру і добра для здійснення мрій! Успіхів і процвітання державній системі з охорони прав на сорти рослин. Все буде Україна!

Сергій МЕЛЬНИК

Вплив попередників та строків сівби на врожайність сортів *Triticum aestivum* L. в умовах Центрального Лісостепу України

В. В. Кириленко^{1*}, О. В. Гуменюк¹, Ю. М. Судденко¹,
О. А. Заїма¹, Р. М. Лось¹, Т. М. Хоменко²

¹Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН, вул. Центральна, 68, с. Центральне, Обухівський р-н, Київська обл., 08853, Україна, *e-mail: verakurulenko@ukr.net

²Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Генерала Родимцева, 15, м. Київ, 03041, Україна

Мета. Визначити потенціал урожайності нових сортів пшениці озимої миронівської селекції залежно від попередників і строків сівби та встановити їх частки впливу в умовах Центрального Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили в польовому чотирифакторному досліді на базі Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН упродовж 2018/19–2020/21 рр. **Результати.** У результаті вивчення п'яти перспективних сортів пшениці озимої, висіяних 25 вересня та 05 жовтня після двох попередників (соя та соняшник), виявили, що незалежно від строків сівби середня врожайність для досліджуваних сортів після попередника соя була вищою і варіювала від 3,77 до 6,24 т/га у порівнянні з попередником соняшник – 3,35–5,52 т/га. Сорт 'МІП Ювілейна' сформував максимальну врожайність за першого строку сівби (5,52 та 6,24 т/га після попередників соняшник та соя відповідно), а сорт 'МІП Фортуна' – за другого (5,46 т/га після попередника соя). **Висновки.** Установлено потенціал урожайності сортів пшениці озимої залежно від попередників та строків сівби в умовах Центрального Лісостепу України. За результатами дисперсійного аналізу отриманих даних з'ясовано частку впливу цих факторів на врожайність культури. Максимальний внесок у дисперсію врожайності був за роком висіву (67,8%) та попередником (20,9%).

Ключові слова: пшениця озима; попередник; строки сівби; погодні умови; фактори впливу.

Вступ

Серед зернових злаків пшениця озима (*Triticum aestivum* L.) є однією з головних продовольчих сільськогосподарських культур, яка посідає чільне місце в зерновому балансі як України, так і всього світу. Загальна світова посівна площа пшениці у 2021–2022 рр. становила приблизно 222,3 млн га, що на 2 млн га більше, ніж у попередні роки [1].

Vira Kyrylenko

<https://orcid.org/0000-0002-8096-4488>

Oleksandr Humenyuk

<https://orcid.org/0000-0002-1147-088X>

Yuliya Suddenko

<https://orcid.org/0000-0001-6586-1977>

Oleksiy Zaima

<https://orcid.org/0000-0001-5714-6308>

Ruslan Los

<https://orcid.org/0000-0003-1932-3312>

Tetiana Khomenko

<https://orcid.org/0000-0001-9199-6664>

Україна за цим показником займає восьме місце в рейтингу і є одним із важливих виробників та експортерів зерна, що прямо чи опосередковано впливає на світову продовольчу безпеку. Частка країни на світовому ринку пшениці становить 10%. Виклики та ризики щодо забезпечення продовольчої безпеки у світі, які виникли внаслідок пандемії COVID-19, значно посилюються у 2022 році внаслідок агресивної війни росії в Україні [2, 3]. Тому, зараз особливо гостро постало питання щодо підвищення врожайності пшениці озимої, стабілізацію та збільшення виробництва зерна для забезпечення продуктами харчування людства, чисельність якого неупинно зростає.

Урожайність пшениці формується завдяки реалізації генетичних особливостей сорту в поєднанні з ґрунтово-кліматичними умовами й технологією вирощування культури [4, 5]. Однак, вибір сорту з позитивними характеристиками не гарантує автоматично отримання високого врожаю, оскільки потенціал

урожайності може бути повністю реалізований тільки після забезпечення оптимальних умов росту рослин [6–8]. Лише за умови сівби в оптимальні строки та після правильно дібраних попередників можна отримати достатню кількість зерна високої якості [9].

Пшениця озима – досить вимоглива культура щодо місця у сівозміні. Попередники повинні сприяти отриманню належної врожайності зерна та створенню задовільного фітосанітарного стану посівів. Від них залежить вологозабезпеченість ґрунту та строки сівби культури [10, 11].

Строки сівби є важливим елементом технології вирощування пшениці озимої, особливо їх значення зростає впродовж останніх років у зв'язку зі зміною кліматичних умов [12–14]. Ранні строки сівби зумовлюють ризики зниження врожайності та пов'язані з надмірним переростанням листкостеблової маси на час припинення осінньої вегетації. Пізні ж строки зумовлюють ризики зниження врожайності через недостатній розвиток рослин перед входженням їх у відносний спокій узимку [15, 16]. Відхилення від оптимального строку сівби значно впливає на ріст і розвиток рослин, морозостійкість, стійкість до несприятливих чинників довкілля, виживання рослин, густоту продуктивного стеблостою та призводить до значного зниження врожайності [17, 18].

Мета досліджень – визначити потенціал урожайності нових сортів пшениці озимої миронівської селекції залежно від попередників і строків сівби та встановити їх частки впливу в умовах Центрального Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили в польовому чотирифакторному досліді в умовах Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН (МІП), що розташований у центральній частині Лісостепу України – південно-східній частині Київської області на вододілі річок Рось і Дніпро у вегетаційні роки 2018/19–2020/21 [фактор А – рік].

Об'єктом досліджень були п'ять нових сортів пшениці озимої миронівської селекції ('МІП Фортуна', 'МІП Лада', 'МІП Ювілейна', 'Аврора миронівська', 'МІП Лакомка') та сорт-стандарт 'Подільська' (фактор В – сорт).

'МІП Фортуна' (T. aestivum). Рік реєстрації – 2019. Різновид – лютесценс. Сорт високопродуктивний, середньоранній, зимо- та посухостійкість високі, стійкий до вилягання, обсіпання та проростання зерна в колосі. Стійкий проти кореневих гнилей, борошнистої роси, бурої іржі, септоріозу листя, стебло-

вої (лінійної) іржі, фузаріозу колосу, твердої та летючої сажки. Характеризується груповою стійкістю проти основних збудників хвороб пшениці за використання ШКІФ. Сорт стабільно формує високу врожайність зерна після просапних попередників – соняшнику, кукурудзи та сої. Синхронність розвитку стеблостою забезпечує високий вихід зернової маси з рослини [19].

'МІП Лада' (T. aestivum). Рік реєстрації – 2019. Різновид – лютесценс. Сорт високопродуктивний, середньостиглий, зимо- та посухостійкість високі. Період яровизаційної потреби 30–40 днів. Фотоперіодична чутливість слабка. Період післязбирального досягання короткий. Стійкий до вилягання, проростання зерна в колосі, фузаріозу колосу, борошнистої роси, бурої іржі, септоріозу листя й колосу [19].

'МІП Ювілейна' (T. aestivum). Рік реєстрації – 2019. Різновид – лютесценс. Сорт високопродуктивний, середньостиглий, зимо- та посухостійкість високі. Період яровизаційної потреби 40–50 днів. Фотоперіодична чутливість середня. Період післязбирального досягання довгий. Стійкий до вилягання, обсіпання та проростання зерна в колосі, борошнистої роси, бурої іржі, септоріозу листя та фузаріозу колосу; середньостійкий до твердої сажки. Добре реагує і витримує високі фони мінерального живлення. Формує високий рівень урожайності в посушливих умовах [19].

'Аврора миронівська' (T. aestivum). Рік реєстрації – 2019. Різновид – еритроспермум. Сорт високопродуктивний, ранньостиглий, зимостійкість середня, посухостійкість висока. Період яровизаційної потреби 30–40 днів. Період післязбирального досягання середній. Стійкий до вилягання та обламування колосу, обсіпання й проростання зерна в колосі, бурої іржі, борошнистої роси, септоріозу листя, фузаріозу колосу та твердої сажки.

Сорт також відзначається швидким відростанням на ранніх етапах розвитку. Можна вирощувати на зрошенні. Ідеально придатний для вирощування в умовах надмірного зволоження.

'МІП Лакомка' (T. durum). Рік реєстрації – 2019. Різновид – лютесценс. Сорт високопродуктивний, середньостиглий, зимостійкість середня, посухостійкість висока. Період яровизаційної потреби 40–50 днів. Фотоперіодична чутливість сильна. Період післязбирального досягання довгий. Стійкий до вилягання, обламування колосу, обсіпання та проростання зерна в колосі. Стійкий проти бурої іржі, борошнистої роси, септоріозу листя, фузаріозу колосу та твердої сажки.

Відзначається швидким відростанням на ранніх етапах розвитку. Можна вирощувати на зрошенні. Ідеально придатний для вирощування в умовах надмірного зволоження.

'Подолянка' (St) (*T. aestivum*). Рік реєстрації – 2003. Різновид – лютесценс. Сорт високоврожайний, середньоранній, зимо- та посухостійкість високі, середньостійкий до вилягання, стійкий до обсипання та проростання зерна в колосі. Сорт поєднує в собі високу врожайність та стабільну якість зерна. Борошномельні та хлібопекарські властивості відмінні.

Досліди закладали після попередників соя-няшник та соя – фактор С (попередник). Сівбу щороку проводили 25 вересня та 5 жовтня 2018/19–2020/21 рр. з відхиленням одна-три доби – фактор D (строк сівби).

Для статистичного аналізу закономірностей варіювання метеорологічних показників використали коефіцієнт суттєвості (K_c) відхилень фактичних даних середньодобової температури та кількості опадів від середньобагаторічних.

Рівень коефіцієнтів суттєвості відхилень температури повітря ($^{\circ}\text{C}$) та кількості опадів (мм) визначали за градацією: $K_c = < 1$ – умови, близькі до звичайних; $K_c = 1-2$ – умови, що сильно відрізняються від середніх багаторічних; $K_c > 2$ – умови, наближені до рідкісних.

Результати досліджень

Одними з головних чинників довкілля, що суттєво впливають на ріст і розвиток рослин пшениці, є температура повітря та вологозабезпеченість. Для виявлення тенденцій динаміки метеорологічних показників проаналізовано погодні умови за 2018–2021 рр. та порівняно їх із середньобагаторічними даними (за 30 останніх років). Для цього використали показники метеостанції Миронівка, що розташована на території МПП.

Погодні умови в роки проведення дослідження різнилися як між собою, так і порівняно з багаторічними даними. Середньомісячні температури повітря були вищими порівняно з багаторічними середньомісячними показниками на $0,3-3,5^{\circ}\text{C}$ та сильно варіювали за роками вегетації культури (табл. 1). Лише в листопаді 2018-го, січні 2019-го, травні 2020-го та лютому, квітні й травні 2021 р. температура зафіксована дещо нижчою, порівняно з багаторічними даними. У зимовий період найбільший розмах варіювання температури повітря відзначено в лютому – $R = 7,1^{\circ}\text{C}$ ($\text{max} = 2,3^{\circ}\text{C}$ у 2020 р., $\text{min} = -4,8^{\circ}\text{C}$ у 2021 р.). У весняний період найбільшою різниця зареєстрована в березні – $R = 4,4^{\circ}\text{C}$ ($\text{max} = 6,5^{\circ}\text{C}$ у 2020 р., $\text{min} = 2,1^{\circ}\text{C}$ у 2021 р.). Середньорічна температура повітря перевищувала середню багаторічну на $1,9-3,1^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 1

Середньомісячна температура повітря ($^{\circ}\text{C}$) у роки досліджень та коефіцієнт суттєвості її відхилень від середньобагаторічного значення (2018/19–2020/21 рр.)

Рік	Місяць											
	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
2018/19	22,1	16,9	10,6	0,6	-2,0	-5,0	0,3	4,6	10,4	16,8	22,7	19,6
2019/20	20,3	15,7	10,9	4,8	2,8	0,7	2,3	6,5	9,6	12,8	21,7	21,6
2020/21	21,2	18,5	13,1	3,8	-0,3	-2,5	-4,8	2,1	7,5	14,4	20,2	22,1
X	21,2	17,0	11,5	3,1	0,2	-2,3	-0,7	4,4	9,2	14,7	21,5	21,1
min	20,3	15,7	10,6	0,6	-2,0	-5,0	-4,8	2,1	7,5	12,8	20,2	19,6
max	22,1	18,5	13,1	4,8	2,8	0,7	2,3	6,5	10,4	16,8	22,7	22,1
R	1,8	2,8	2,5	4,2	4,8	5,7	7,1	4,4	2,9	4,0	2,5	2,5
БР	19,0	14,1	8,0	1,5	-2,9	-4,6	-3,3	1,3	8,9	14,9	18,0	18,0
+ БР	2,2	2,9	3,5	1,6	3,1	2,3	2,6	3,1	0,3	-0,2	3,5	3,1

Примітки. X, max, min, R – середнє, максимальне, мінімальне значення та розмах варіювання за 2018–2021 рр. відповідно; БР – середньобагаторічне значення за 30 років.

Розрахунки коефіцієнтів суттєвості відхилень середніх добових температур дали змогу встановити, що умови близькі до звичайних відзначали у вересні, листопаді – січні, квітні, травні та липні 2018/19 вегетаційного року, що становило 58,3% від загалу (рис. 1). Такими самими умовами характеризувалися серпень – листопад, квітень, травень та липень 2019/20 р. (58,3%); серпень, листопад, січень – липень 2020/21 р. (75%). Умови, які сильно відрізнялися від середніх багаторіч-

них, виявлено в серпні, жовтні, лютому та березні 2018/19 р. (33,3%); березні та червні 2019/20 р. (16,7%); вересні, жовтні та грудні 2020/21 р. (25,0%). Умови, наближені до рідкісних, встановлено в червні 2018/19 р. (8,4%) та грудні – лютому 2020/21-го (25,0%).

Таким чином, температурні умови 23 (63,9%) із 36 місяців (2018/19–2020/21 рр.) належали до категорії «умови, близькі до звичайних». Водночас 9 місяців (25%) належали категорії «умови, які сильно відрізняються

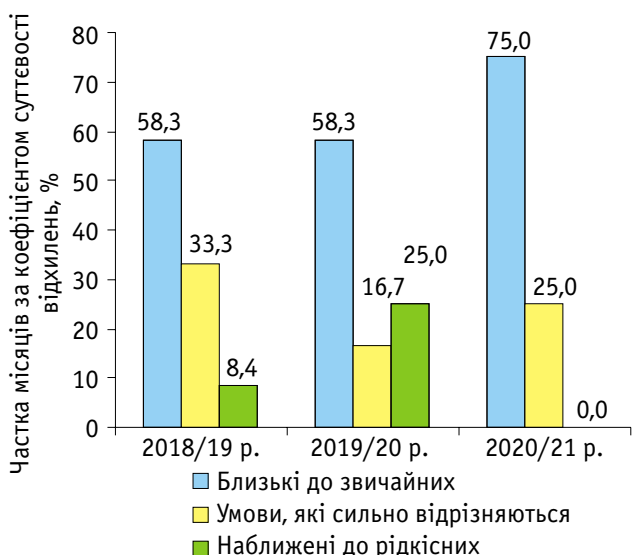


Рис. 1. Коефіцієнт суттєвості відхилень температури повітря (2018/19–2020/21 рр.)

від звичайних», а 4 місяці (11,1%) – до категорії «умови, наближені до рідкісних».

Роки досліджень виявилися контрастними за кількістю опадів з нерівномірним їх розподілом за місяцями. Вологозабезпечення було чинником, який обмежував реалізацію потенційної врожайності досліджуваних сортів. До посушливих можна віднести 2018/19 та 2019/20 вегетаційні роки (табл. 2). Зокрема, сумарна кількість опадів за ці періоди становила 519,5 та 382,4 мм відповідно. Тобто, за 2018/19 р. випало 89,3% опадів проти середньобагаторічної кількості та лише 65,7% за 2019/20 вегетаційний рік. Крім того, 2019/20 р. характеризувався значним дефіцитом вологи в осінній період (43,7 мм, або 33,1% від середньобагаторічного показника). Кількість опадів за 2020/21 р. наближалася до середньобагаторічної норми (582,0 мм) і становила 608,2 мм, тобто 104,5%.

Таблиця 2

Кількість опадів (мм) та коефіцієнт суттєвості її відхилень від середньобагаторічного значення (2018/19–2020/21 рр.)

Рік	Місяць											
	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
2018/19	14,7	79,8	28,5	20,1	71,9	40,1	26,2	27,4	23,4	50,3	87,1	50,0
2019/20	9,9	11,7	6,1	16,0	36,6	19,8	51,6	11,9	47,5	92,5	57,2	21,6
2020/21	7,6	21,3	38,6	27,9	38,1	57,1	33,8	28,7	47,0	87,4	109,5	111,2
X	10,7	37,6	24,4	21,3	48,9	39,0	37,2	22,7	39,3	76,7	84,6	60,9
min	7,6	11,7	6,1	16,0	36,6	19,8	26,2	11,9	23,4	50,3	57,2	21,6
max	14,7	79,8	38,6	27,9	71,9	57,1	51,6	28,7	47,5	92,5	109,5	111,2
R	7,1	68,1	32,5	11,9	35,3	37,3	25,4	16,8	24,1	42,2	52,3	89,6
БР	29,5	28,7	31,8	42,1	51,2	85,2	86,5	59,4	51,1	35,6	42,3	38,6
± БР	-18,8	8,9	-7,4	-20,8	-2,3	-46,2	-49,3	-36,7	-11,8	41,1	42,3	22,3

Примітки. X, max, min, R – середнє, максимальне, мінімальне значення та розмах варіювання за 2018/19–2020/21 рр. відповідно; БР – середньобагаторічне за 30 років.

Проаналізувавши коефіцієнти суттєвості відхилень суми опадів виявили, що умови, близькі до звичайних (значна нестача опадів), фіксували в серпні, жовтні, листопаді, лютому – липні 2018/19 р. (75,0%) (рис. 2); серпні – січні, березні, квітні, червні та липні 2019/20 р. (83,3%); серпні – грудні та березні 2020/21 р. (50,0%). Умови, які сильно відрізнялися (помірна посуха) від середніх багаторічних норм, відзначено лише в лютому та квітні 2020/21 р. (16,7%). Умови, наближені до рідкісних (значна кількість опадів), визначено у грудні, січні та травні 2018/19 р. (25,0%); лютому та квітні 2019/20 р. (16,7%); січні, травні – липні 2020/21 р. (33,3%).

Середня врожайність сортів пшениці озимої за сівби 25 вересня після попередників соняшник та соя була вищою і знаходилася в межах від 4,04 до 6,24 т/га у порівнянні зі строком сівби 5 жовтня – 3,35–5,46 т/га (рис. 3). Винятком виявився сорт-стандарт 'Подольнка', у якого середню врожайність одержали більшою на 0,68 т/га за сівби 5 жовтня після

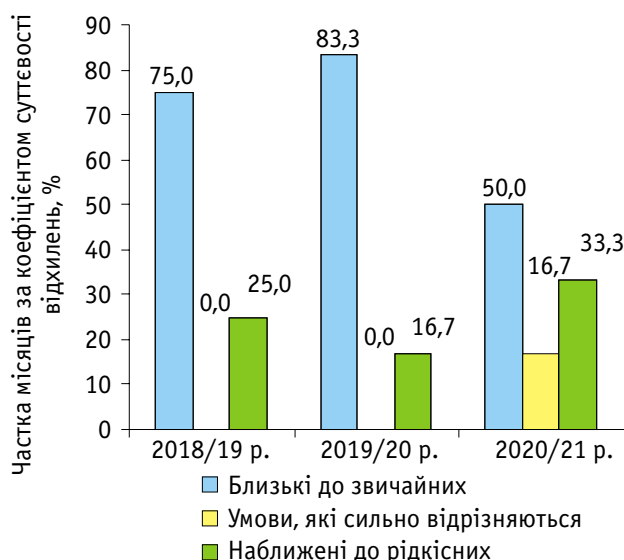


Рис. 2. Коефіцієнт суттєвості відхилень опадів (2018–2021 рр.)

попередника соняшник. Слід відзначити, що за першого строку сівби (25 вересня) максимальну середню врожайність формували сорт

‘МІП Ювілейна’ – 5,52 та 6,24 т/га після попередників сояшник та соя відповідно, що вказує на сортову особливість. Найвищу се-

редню врожайність за другого строку сівби (5 жовтня) зафіксували в сорту ‘МІП Фортуна’ – 5,46 т/га після попередника соя.

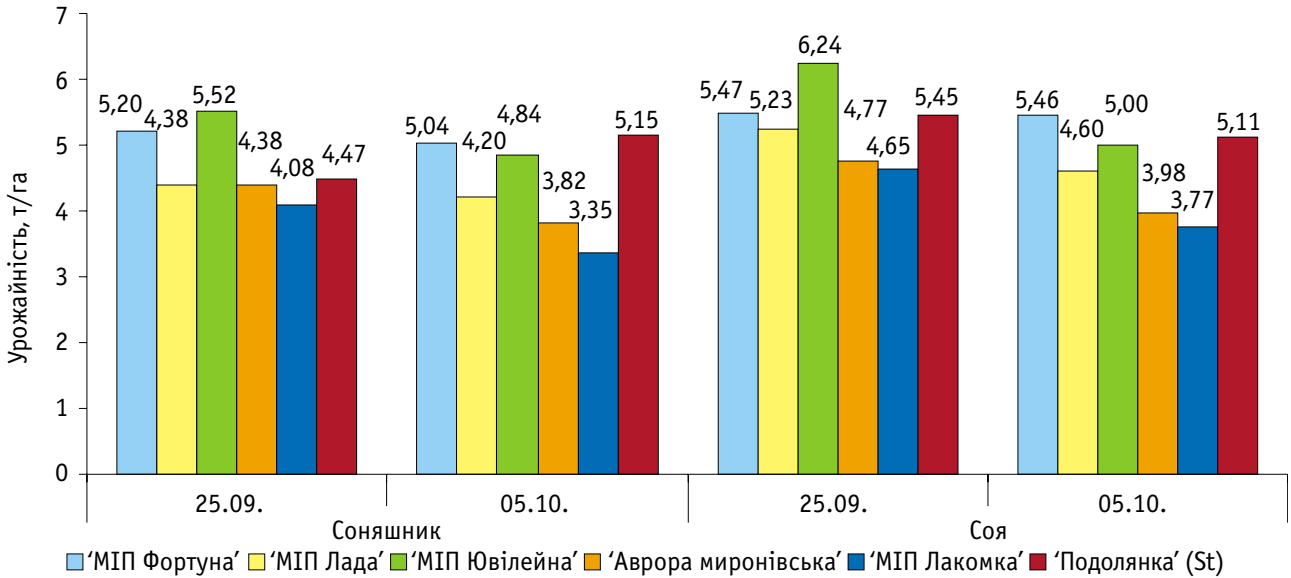


Рис. 3. Середня врожайність сортів пшениці озимої після попередників сояшник та соя за строками сівби (2019–2021 рр.)

Незалежно від строків сівби, середня врожайність для досліджуваної вибірки сортів після попередника соя була вищою і варіювала від 3,77 до 6,24 т/га у порівнянні з попередником сояшник – 3,35–5,52 т/га (рис. 3). Це пояснюється тим, що соя в результаті діяльності бульбочкових бактерій

залишає після себе азот у ґрунті. Сояшник – навпаки, збіднює ґрунт на поживні речовини та висушує його. Крім того, соя збиралася раніше, ніж сояшник, що дає змогу своєчасно і якісно здійснити передпосівний обробіток ґрунту для сівби пшениці озимої.

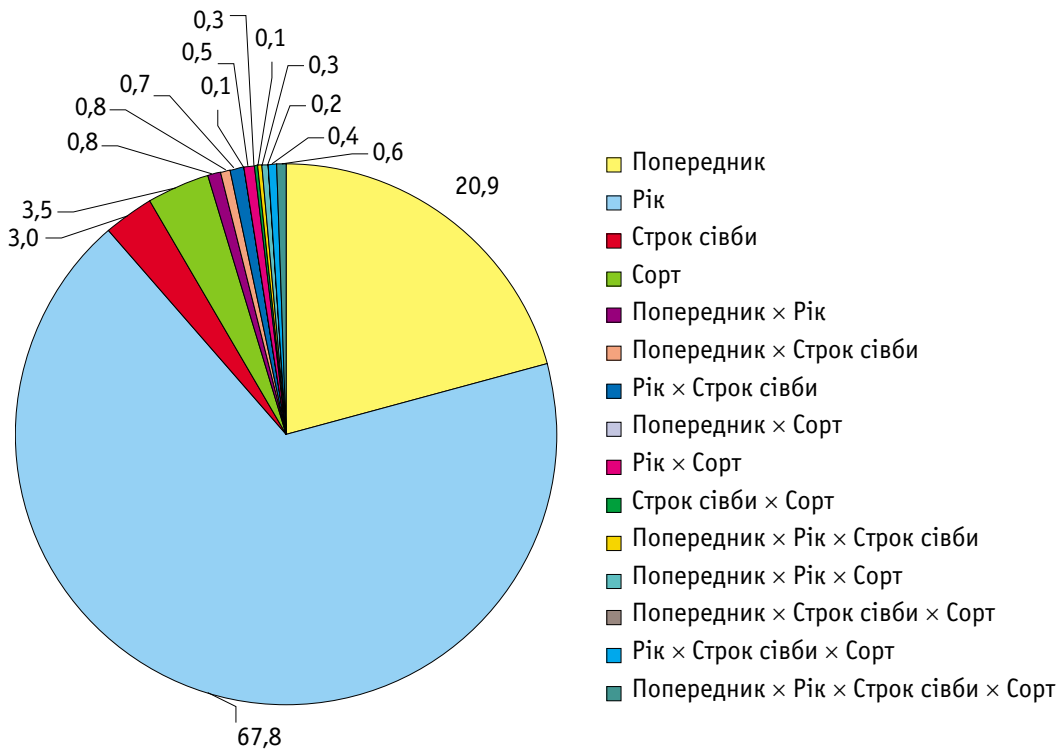


Рис. 4. Частки впливу факторів (%) на врожайність сортів пшениці озимої в умовах Центрального Лісостепу України (2019–2021 рр.)

За результатами дисперсійного аналізу встановлено значну різницю за попередниками та строками сівби (рис. 4). Внесок у врожайність сортів, за показником дисперсії, виявився максимальним за роком досліджень (67,8%). Окрім того, значний вплив на врожайність чинив попередник (20,9%) пшениці озимої. Частки впливу біологічних особливостей досліджуваних сортів та строку сівби становили 3,5 і 3,0% відповідно. Вплив взаємодії факторів «попередник × рік», «попередник × строк сівби», «рік × строк сівби» становив 0,8; 0,8 та 0,7% відповідно, а найменшу частку отримано від взаємодії «попередник × сорт» та «попередник × рік × строк сівби» (0,1%).

Отже, отримані експериментальні дані підтверджують значний вплив року досліджень, попередника, строку сівби та сорту на формування високих показників урожайності пшениці озимої. Ці складники технології сприятимуть не тільки збільшенню валових зборів зерна, а й зростанню ефективності його виробництва.

Висновки

Погодні умови у роки проведення дослідження різнилися як між собою, так і порівняно з багаторічними даними. Роки виявилися контрастними за кількістю опадів з нерівномірним їх розподілом за місяцями. 2018/19 та 2019/20 вегетаційні роки можна віднести до посушливих, 2020/21 р. – близьким до середньобагаторічної норми.

Середня врожайність сортів пшениці озимої була вищою за сівби 25 вересня та після попередника соя. Максимальну врожайність (5,52 та 6,24 т/га) за сівби 25 вересня формували сорт 'МПП Ювілейна' після попередників соняшник та соя відповідно, за сівби 5 жовтня – 'МПП Фортуна' (5,46 т/га) після попередника соя. Факторами, що найбільше впливали на рівень урожайності пшениці озимої, виявились умови року вирощування та попередник, частка впливу яких становила 67,8 і 20,9% відповідно. Фактори «сорт» і «строк сівби» мали частки впливу на рівні 3,5 і 3,0% відповідно.

Використана література

1. Процик І. С., Безе А. О. Світові тенденції розвитку ринку пшениці та кукурудзи і визначення місця України на ньому. *Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку*. 2022. № 2. С. 414–426. doi: 10.23939/smeu2022.02.414
2. Abdullaeva A., Andrusenko N., Hromová O. et al. The Impact of the Russian-Ukrainian War on EU Food Security. *Economic Affairs*. 2022. Vol. 67, Iss. 4s. P. 859–867. doi: 10.46852/0424-2513.4s.2022.19

3. Jagtap S., Trollman H., Trollman F. et al. The Russia-Ukraine Conflict: Its Implications for the Global Food Supply Chains. *Foods*. 2022. Vol. 11, Iss. 14. Article 2098. doi: 10.3390/foods11142098
4. Eltaher S., Baenziger P. S., Belamkar V. et al. GWAS revealed effect of genotype × environment interactions for grain yield of Nebraska winter wheat. *BMC Genomics*. 2021. Vol. 22, Iss. 1. P. 1–14. doi: 10.1186/s12864-020-07308-0
5. Kaya Yu., Akcura M. Effects of genotype and environment on grain yield and quality traits in bread wheat (*T. aestivum* L.). *Food Science and Technology*. 2014. Vol. 34, Iss. 2. P. 386–393. doi: 10.1590/fst.2014.0041
6. Hellemans T., Landschoot S., Dewitte K. Impact of crop husbandry practices and environmental conditions on wheat composition and quality: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018. Vol. 66, Iss. 11. P. 2491–2509. doi: 10.1021/acs.jafc.7b05450
7. Naseh N., Dhaka A. K., Singh B. Suitable genotype and optimization of seed rate for late sown wheat. *International Journal of Chemical Studies*. 2020. Vol. 8, Iss. 1. P. 515–519. doi: 10.22271/chemi.2020.v8.i1g.8310
8. Popović V., Ljubičić N., Kostić M. Genotype × environment interaction for wheat yield traits suitable for selection in different seed priming conditions. *Plants*. 2020. Vol. 9, Iss. 12. Article 1804. doi: 10.3390/plants9121804
9. Demydov O., Hudzenko V., Pravdziva I. Manifestation and variability level of yield and grain quality indicators in winter bread wheat depending on natural and anthropogenic factors. *Romanian Agricultural Research*. 2022. Vol. 39. P. 175–185.
10. Gawęda D., Haliniarz M. Grain yield and quality of winter wheat depending on previous crop and tillage system. *Agriculture*. 2021. Vol. 11, Iss. 2. Article 133. doi: 10.3390/agriculture11020133
11. Darguza M., Gaile Z. Yield and quality of winter wheat, depending on crop rotation and soil tillage. *Research for Rural Development*. 2019. Vol. 2. P. 29–35. doi: 10.22616/rrd.25.2019.045
12. Khan F., Khan M. I., Khan S. Evaluation of agronomic traits for yield and yield components in wheat genotypes with respect to planting dates. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture*. 2018. Vol. 2, Iss. 1. P. 7–11. doi: 10.26480/mjsa.01.2018.07.11
13. Mukhtarullah J. A., Ali J., Akmal M. Yield comparison of some improved wheat varieties under different sowings dates as rainfed crop. *Sarhad Journal of Agriculture*. 2016. Vol. 32, Iss. 2. P. 89–95. doi: 10.17582/journal.sja/2016/32.2.89.95
14. Khosravi V., Khajoei-Nejad G., Mohammadi-Nejad G., Yousefi K. The effect of different sowing dates on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 2010. Vol. 1, Iss. 3. P. 77–82.
15. Munsif F., Arif M., Jan M. T. et al. Influence of sowing dates on phenological development and yield of dual purpose wheat cultivars. *Pakistan Journal of Botany*. 2015. Vol. 47, Iss. 1. P. 83–88.
16. Baloch M. S., Nadim M. A., Zubair M. Evaluation of wheat under normal and late sowing condition. *Pakistan Journal of Botany*. 2012. Vol. 44, Iss. 5. P. 1727–1732.
17. Singh H., Vimal S. C. Impact of sowing on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *The Pharma Innovation*. 2022. Vol. 11, Iss. 6. P. 2383–2391.
18. Aslani F., Mehrvar M. R. Responses of wheat genotypes as affected by different sowing dates. *Asian Journal of Agricultural Sciences*. 2012. Vol 4, Iss. 1. P. 72–74.
19. Демидов О. А., Гудзенко В. М., Гуменюк О. В. та ін. Каталог сортів зернових культур. Миронівка, 2022. 82 с.

References

1. Protsik, I. S., & Beze, A. O. (2022). Global trends in wheat and corn market development and determination of Ukraine's place in it. *Management and entrepreneurship in Ukraine: stages of*

- formation and problems of development, 2(8), 414–426. doi:10.23939/smeu2022.02.414 [In Ukrainian]
2. Abdullaieva, A., Andrusenko, N., Hromová, O., Martynova, L., Prutska, O., & Yurchyk, I. (2022). The Impact of the Russian-Ukrainian War on EU Food Security. *Economic Affairs*, 67(4s), 859–867. doi: 10.46852/0424-2513.4s.2022.19
 3. Jagtap, S., Trollman, H., Trollman, F., Garcia-Garcia, G., Parra-López, C., Duong, L., ... Afy-Shararah, M. (2022). The Russia-Ukraine Conflict: Its Implications for the Global Food Supply Chains. *Foods*, 11(14), Article 2098. doi: 10.3390/foods11142098
 4. Eltahir, S., Baenziger, P. S., Belamkar, V., Emara, H. A., Nower, A. A., Salem, K. F., & Sallam, A. (2021). GWAS revealed effect of genotype × environment interactions for grain yield of Nebraska winter wheat. *BMC Genomics*, 22(1), 1–14. doi: 10.1186/s12864-020-07308-0
 5. Kaya, Yu. & Akcura, M. (2014). Effects of genotype and environment on grain yield and quality traits in bread wheat (*T. aestivum* L.). *Food Science and Technology*, 34(2), 386–393. doi: 10.1590/fst.2014.0041
 6. Hellemans, T., Landschoot, S., Dewitte, K., Van Bockstaele, F., Vermeir, P., Eeckhout, M., & Haesaert, G. (2018). Impact of crop husbandry practices and environmental conditions on wheat composition and quality. A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(11), 2491–2509. doi: 10.1021/acs.jafc.7b05450
 7. Naseh, N., Dhaka, A. K., Singh, B., Kumar, A., & Bhuker, A. (2020). Suitable genotype and optimization of seed rate for late sown wheat. *International Journal of Chemical Studies*, 8(1), 515–519. doi: 10.22271/chemi.2020.v8.i1g.8310
 8. Popović, V., Ljubičić, N., Kostić, M., Radulović, M., Blagojević, D., Ugrenović, V., ... Ivošević, B. (2020). Genotype × environment interaction for wheat yield traits suitable for selection in different seed priming conditions. *Plants*, 9(12), Article 1804. doi: 10.3390/plants9121804
 9. Demydov, O., Hudzenko, V., Pravdziva, I., Siroshstan, A., Volohdina, H., Zaima, O., & Suddenko, Y. (2022). Manifestation and variability level of yield and grain quality indicators in winter bread wheat depending on natural and anthropogenic factors. *Romanian Agricultural Research*, 39, 175–185.
 10. Gawęda, D., & Haliniarz, M. (2021). Grain yield and quality of winter wheat depending on previous crop and tillage system. *Agriculture*, 11(2), Article 133. doi: 10.3390/agriculture11020133
 11. Darguza, M., & Gaile, Z. (2019). Yield and quality of winter wheat, depending on crop rotation and soil tillage. *Research for Rural Development*, 2, 29–35. doi: 10.22616/rrd.25.2019.045
 12. Khan, F., Khan, M. I., Khan, S., Zaman, M. A. U., Rasheed, H., & Khan, A. R. (2018). Evaluation of agronomic traits for yield and yield components in wheat genotypes with respect to planting dates. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture*, 2(1), 7–11. doi: 10.26480/mjsa.01.2018.07.11
 13. Mukhtarullah, J. A., Ali, J., & Akmal, M. (2016). Yield comparison of some improved wheat varieties under different sowings dates as rainfed crop. *Sarhad Journal of Agriculture*, 32(2), 89–95. doi: 10.17582/journal.sja/2016/32.2.89.95
 14. Khosravi, V., Khajoiie-Nejad, G., Mohammadi-Nejad, G., & Yousefi, K. (2010). The effect of different sowing dates on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 1(3), 77–82.
 15. Munsif, F., Arif, M., Jan, M. T., Ali, K., & Khan, M. J. (2015). Influence of sowing dates on phenological development and yield of dual purpose wheat cultivars. *Pakistan Journal of Botany*, 47(1), 83–88.
 16. Baloch, M. S., Nadim, M. A., Zubair, M., Awan, I. U., Khan, E. A., & Ali, S. (2012). Evaluation of wheat under normal and late sowing condition. *Pakistan Journal of Botany*, 44(5), 1727–1732.
 17. Singh, H., & Vimal, S. C. (2022). Impact of sowing on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *The Pharma Innovation*, 11(6), 2383–2391.
 18. Aslani, F., & Mehrvar, M. R. (2012). Responses of wheat genotypes as affected by different sowing dates. *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 4(1), 72–74.
 19. Demydov, O. A., Hudzenko, V. M., Humeniuk, O. V., Khomenko, S. O., Kyrylenko, V. V., Siroshstan, A. A., ... Buniak, O. I. (2022). *Kataloh sortiv zernovykh kultur* [Catalog of varieties of grain crops]. Myronivka: N. p. [In Ukrainian]

UDC 633.11:631.53.4:631.55(477.4)

Kyrylenko, V. V.¹, Humeniuk, O. V.¹, Suddenko, Y. M.¹, Zaima, O. A.¹, Los, R. M.¹, & Khomenko, T. M.² (2023). Influence of preceding crops and sowing date on the yield of varieties of *Triticum aestivum* L. under the conditions of the central Forest-Steppe of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 19(3), 141–147. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.19.3.2023.287637>

¹The V.M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat, NAAS of Ukraine, 68 Tsentralna St., Tsentralne village, Obukhiv district, Kyiv region, 08853, Ukraine, *e-mail: verakurulenko@ukr.net

²Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Henerala Rodymtseva St., Kyiv, 03041, Ukraine,

Purpose. To determine the yield potential of new winter wheat varieties of the Myronivka breeding as a function of preceding crops and sowing dates, and to determine their proportion of influence in the conditions of the central Forest-Steppe of Ukraine. **Methods.** The research was conducted in a four-factor field experiment at the V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine during 2018/19–2020/21. **Results.** As a result of the study of five promising varieties of winter wheat, sown on September 25 and October 5 after two predecessors (soybean and sunflower), it was found that, regardless of the sowing dates, the average yield of the varieties studied was higher after the predecessor soybean and varied from 3.77 to 6.24 t/ha compared to its predecessor sunflower – 3.35–5.52 t/ha.

The variety ‘MIP Yuvileina’ produced the maximum yield in the first sowing period (5.52 and 6.24 t/ha after the preceding sunflower and soybean, respectively) and the variety ‘MIP Fortuna’ – in the second sowing period (5.46 t/ha after the preceding soybean). **Conclusions.** The yield potential of winter wheat varieties was determined in relation to their predecessors and sowing dates in the conditions of the central Forest-Steppe of Ukraine. According to the results of the variance analysis of the obtained data, the proportion of influence of these factors on the crop yield was determined. The largest contribution to the yield variance was made by the year of sowing (67.8%) and the predecessor (20.9%).

Keywords: winter wheat; predecessor; sowing period; weather conditions; influencing factors.

Надійшла / Received 19.08.2023
Погоджено до друку / Accepted 15.09.2023

Оцінка селекційного матеріалу за морфо-цитологічними особливостями генеративних органів рослин роду *Miscanthus*

С. О. Лашук

Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Генерала Родимцева, 15, м. Київ, 03041, Україна,
e-mail: lashuk_s@ukr.net

Мета. Вивчити морфологічні й цитологічні особливості пиляків, пилку та маточок рослин роду *Miscanthus*, отриманих в умовах *in vitro*. **Методи.** Препарати маточок, незапліднених насінневих зачатків, пиляків та пилку, незабарвлені або забарвлені розчином карміну (2%) в оцтовій кислоті (45%) чи розчином метиленового синього, досліджували методом світлової мікроскопії. Вимірювання для рослин різних видів міскантусу, а також підрахунок кількості пилку різного діаметра здійснювали в десятиразовому повторенні. **Результати.** Вивчено морфологічні й цитологічні особливості генеративних органів китайського, цукровіткового та гігантського видів міскантусу. Встановлено, що квітка цієї рослини однодомна, містить як тичинки, так і маточку. Забарвлення пиляків жовте або рожево-жовте, їхні тканини складаються з видовжених клітин довжиною 70–100 мкм. Маточка має зав'язь з двома стовпчиками, що несуть довгі (2,0–2,8 мм) перисті приймочки, колір яких варіюється від білого до яскраво-рожевого. Форма пір'ячок маточки помірно розгалужена; довжина – 160–300 мкм; ширина – 20–30 мкм; розташування почергове; кількість маленьких відгалужень становить 10–15 шт. Пилок різних видів міскантусу відрізняється за якісними та кількісними ознаками, зокрема у *M. sinensis* і *M. sacchariflorus* він характеризується округлою формою, вирівняністю та однорідністю (43–48 мкм у діаметрі), а в *M. giganteus* є більш гетерогенним за розміром (діаметр 23–45 мкм). Пилок має одну округлу орнаментовану пору діаметром 2,7–4,0 мкм. **Висновки.** За результатами проведених досліджень надано морфологічну та цитологічну характеристику генеративних органів рослин *M. sinensis*, *M. sacchariflorus*, *M. giganteus*, а саме: маточок, пиляків і пилку. Дані, що отримано, слід враховувати в подальшій селекційній роботі у процесі створення ди- та триплоїдних гібридів міскантусу.

Ключові слова: міскантус; тичинки; маточка; пилок; цитологія; генеративні органи.

Вступ

Рід *Miscanthus* – це перспективні біоенергетичні рослини, а саме: високопродуктивні багаторічні кореневищні трави, використовувані як нетрадиційне відновлювальне джерело енергії [1–5].

Використання міскантусу натеper важливе і з погляду глобальної екології, адже ця культура гальмує ерозію ґрунту та є ефективним абсорбентом вуглекислого газу, що знижує парниковий ефект. Водночас це перспективне джерело рослинної сировини для хімічної промисловості під час виробництва лігніно-целюлозної біомаси й композитних матеріалів, замінників деревини та пластмаси [6–9].

Міскантус вважають перспективною економічною культурою завдяки поєднанню високої продуктивності й екологічних показників, багатовекторному використанню біомаси та можливості вирощування на економічно маргінальних землях, які зазвичай характеризуються абіотичними стресами (посуха, повені, кам'янистість, крутий схил, вплив вітру), нестачею поживних речовин, а також ґрунтами, непридатними для виробництва продуктів харчування через забруднення важкими металами й іншими політантами [10]. Використання глобального ресурсу маргінальних земель дасть змогу масово збільшити виробництво, застосування біомаси та виділення вуглецю з атмосфери [11, 12].

Найпріоритетнішим серед великої кількості видів вважають міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus* J.M.Greef Denter ex Hodkinson Renvoise). Це природний аллотри-

Snizhana Lashuk
<https://orcid.org/0000-0002-9588-7761>

плоїд ($2n = 3x = 57$), гібрид між тетраплоїдом міскантусом цукрокрітковим [*M. sacchariflorus* (Maxim.) Hack] ($2n = 4x = 76$) та диплоїдом міскантусом китайським (*M. sinensis* Andersson) ($2n = 2x = 38$).

Найефективнішу трансформацію сонячної енергії в біомасу забезпечують рослини з фотосинтезом типу C_4 , до яких належить і міскантус. Втім, на відміну від більшості інших C_4 -рослин (зокрема, кукурудзи), він вирізняється толерантністю до холоду, термолабільністю рубіско й піруватортофосфатдикинази (ключові ферменти фотосинтезу) та збереженням їхньої активності за зниження температури, що дає змогу підтримувати фотосинтез на високому рівні [13].

Комерційний міскантус гігантський – стерильний триплоїдний гібрид, насіння якого зібрано в симпатричних популяціях міскантусів цукрокріткового та китайського на острові Хокайдо (Японія). Розповсюдження у світі отримав лише один японський клон *M. giganteus*, що розмножується вегетативно частками кореневищ – ризомами та в культурі *in vitro* [14, 15]. Обмеженість його експансії, зумовлену чутливістю до посухи й інших стресових факторів, низьким коефіцієнтом розмноження [16], а також високими виробничими витратами на висаджування плантацій [17], на думку селекціонерів з Великобританії, можна подолати, отримуючи стійкіші гібриди міскантусу, які б розмножувалися насінням. Водночас природне різноманіття рослин, поширених у різних середовищах Східної Азії, може забезпечити селекціонерів генетичними ресурсами для підвищення продуктивності й стійкості проти широкого спектра агрокліматичних умов і несприятливих абіотичних навантажень [18].

У Великобританії, Німеччині та інших країнах Європи стратегію селекції міскантусу зосереджено на використанні й відборі диких типів, батьківських форм і потомства для створення нових перспективних гібридів *M. sinensis* × *M. sacchariflorus* з високими врожайністю, виробництвом насіння, стійкістю проти холоду, посухи й інших стресових факторів [4, 9, 19]. Задля цього проводять дослідження з адаптивної селекції. Так, здійснено експерименти з феномікою щодо посухостійкості на дикій і покращеній зародковій плазмі [20, 21].

Відомо, що одним із репродуктивних бар'єрів у межах симпатричних популяцій рослин роду *Miscanthus* і суттєвою перешкодою для гібридизації є асинхронність періодів цвітіння цих компонентів, а також нестача у світовій науковій літературі інформації про мор-

фологію й цитологію пилку, маточки, особливості запилення й одержання гібридного насіння міскантусів. Враховуючи результати проведених досліджень, можна буде з більшою ймовірністю визначати генетичну цінність селекційного матеріалу, поліпшувати його фертильність та успішно проводити гібридизацію компонентів.

Мета досліджень – вивчити морфологічні й цитологічні особливості пиляків, пилку та маточок рослин роду *Miscanthus*, одержаних в умовах *in vitro*.

Матеріали та методи досліджень

Дослідження генеративних органів (пиляків, пилку та маточок) *M. sinensis*, *M. sacchariflorus* і *M. giganteus* проводили в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН упродовж 2014–2019 рр.

Рослини вищевказаних видів міскантусу отримували та розмножували в умовах *in vitro*. Для цього використовували насіння *M. sinensis* і *M. sacchariflorus* 2012 та 2008 рр. репродукції відповідно, клони *M. sacchariflorus* і ризоми *M. giganteus*.

У процесі розмноження стерильне насіння *M. sinensis*, *M. sacchariflorus* та бруньки з ризом *M. giganteus* висаджували *in vitro* на модифіковане середовище Мурасіге – Скуга. Рослини *M. sinensis* та *M. sacchariflorus* отримували у культурі *in vitro* способом непрямого морфогенезу [22], *M. giganteus* – мікроклонального розмноження.

Пагони з морфогенних калусів *M. sinensis*, *M. sacchariflorus* та клони *M. giganteus* заввишки 2–3 см відокремлювали і пересаджували на середовище для розмноження та стимуляції росту ризом. Після утворення ризом довжиною 10–15 см мікророслини висаджували у відкритий ґрунт (з умов *in vitro* в *ex vitro*), використовуючи для адаптації пластикові колби, які знімали через 6–8 діб [23].

Рослинний матеріал – генеративні органи (пиляки, пилок, маточки) *M. sinensis*, *M. sacchariflorus*, *M. giganteus* – відбирали у фазі цвітіння на 4–5-й рік вирощування у відкритому ґрунті.

Для проведення цитологічних досліджень із використанням світлової мікроскопії готували препарати маточок, незапліднених насінневих зачатків, пиляків та пилку, незабарвлені або забарвлені розчином карміну (2%) в оцтовій кислоті (45%) чи розчином метиленового синього [24]. Для всіх представників видів міскантусу проводили вимірювання й обчислювали кількісні та якісні показники пилку в десятиразовому повторенні.

Результати досліджень

Вегетація міскантусу в умовах Київської області розпочинається наприкінці квітня – в перших числах травня. Фаза цвітіння (появи волоті) у представників різних видів настає через 100–135 дів після старту вегетації (кінець липня – початок серпня) [25, 26].

У результаті спостережень виявлено, що першим (остання декада липня) зацвітає *M. sacchariflorus*; пізніше (друга декада серпня) – *M. sinensis*. *M. giganteus* цвіте останнім (початок жовтня), а в деякі роки може зовсім не утворювати волоті через несприятливі кліматичні умови.

За формою волоті можуть бути веретено-, конусо- або еліпсоподібними. Їхня довжина у процесі морфометричних досліджень становила від 18 до 23 см, ширина – 8–16 см (табл. 1).

Таблиця 1

Розміри волоті різних видів міскантусу

Вид	Довжина волоті, см	Ширина волоті, см
<i>M. giganteus</i>	21,9 ± 0,69	15,2 ± 0,48
<i>M. sinensis</i>	19,2 ± 0,60	8,6 ± 0,27
<i>M. sacchariflorus</i>	18,4 ± 0,58	10,2 ± 0,32

Гранично допустимі показники довжини та ширини волоті (max, min) отримано в результаті обрахунків її розмірів (рис. 1).

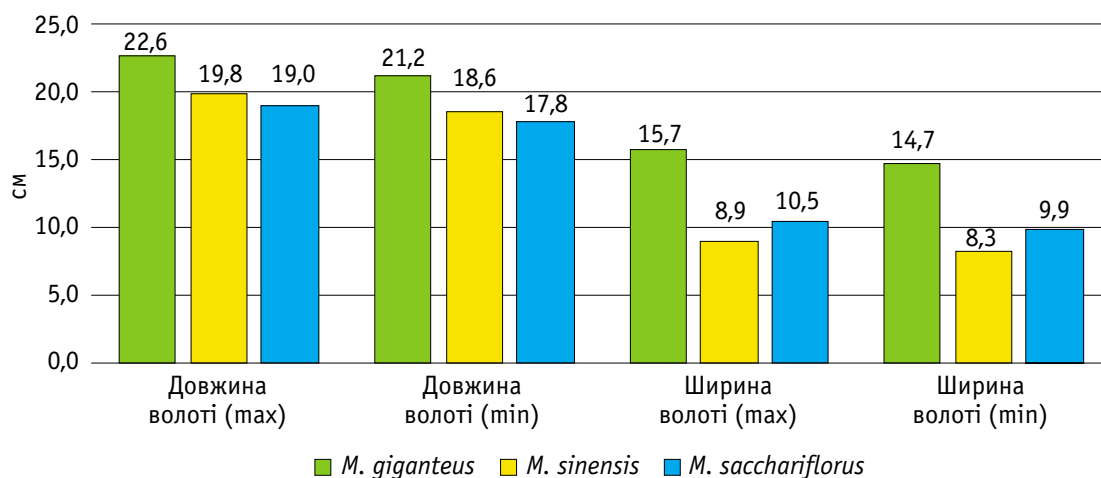


Рис. 1. Гранично допустимі показники розмірів волоті рослин міскантусу

Квітка міскантусу містить як тичинки, так і маточку (рис. 2).

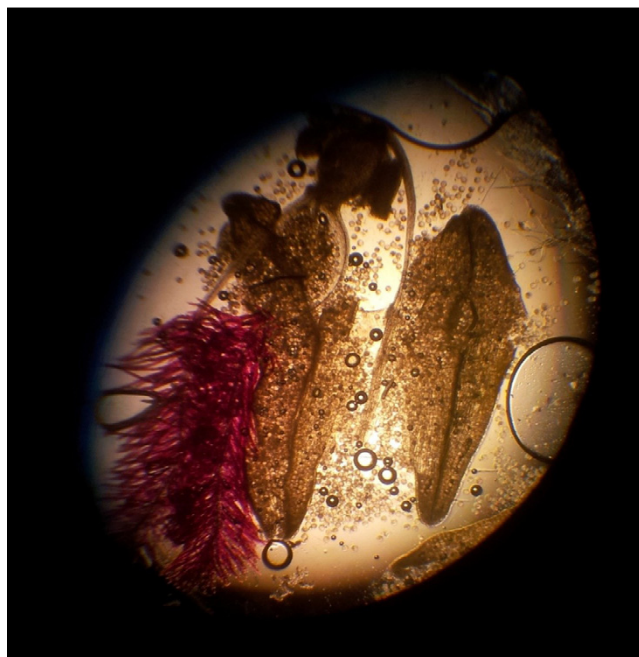


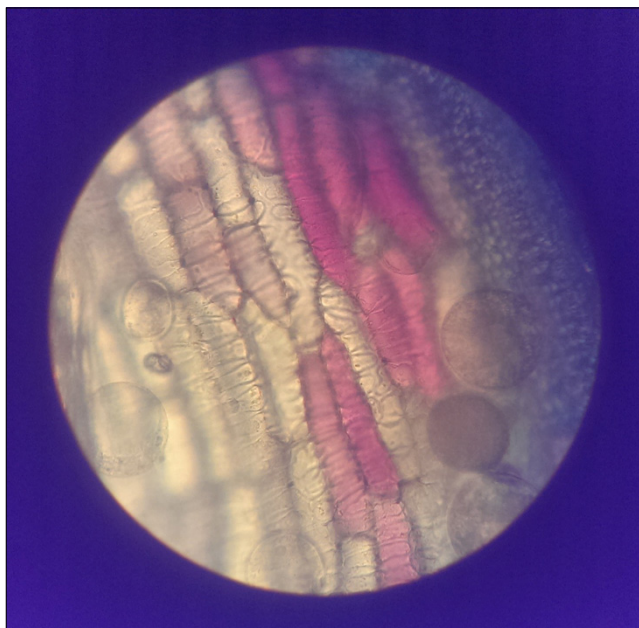
Рис. 2. Пиляки та маточка *M. sacchariflorus*

Тичинки мають довгі тичинкові нитки та продовгуваті пиляки (рис. 3).



Рис. 3. Пиляк *M. sacchariflorus*

Забарвлення пиляків китайського та гігантського міскантусів світло-жовте, жовте або рожево-жовте. Тканини пиляків міскантусу цукрокріткового переважно рожево-жовті, вони складаються з видовжених клітин (рис. 4) довжиною приблизно 70–100 мкм.

Рис. 4. Тканини пиляка *M. sacchariflorus*Рис. 6. Пір'ячко приймочки маточки *M. sacchariflorus*

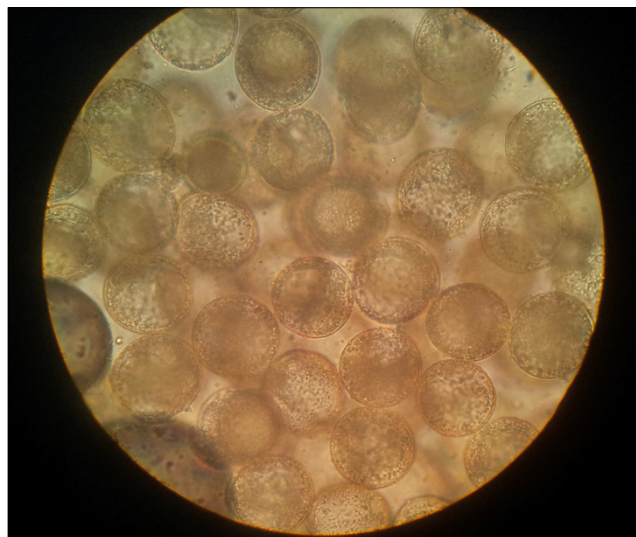
Маточка у міскантусів – це зав'язь із двома стовпчиками, які несуть довгі (2,0–2,8 мм) розгалужені перисті приймочки (рис. 5). Забарвлення приймочок гігантського та китайського міскантусів варіюється від білого до рожевого, а у цукрокріткового є яскраво-рожевим.

Рис. 5. Маточка *M. sacchariflorus* (загальний вигляд)

Форма пір'ячок помірно розгалужена. Кількість маленьких відгалужень може досягати 10–15 шт. Розташування почергове (рис. 6).

Довжина пір'ячок залежить від їх розташування: на кінці маточки – 160–200 мкм, в середині та в основі – 270–300 мкм. Їхня ширина становить 20–30 мкм.

У результаті цитологічного аналізу встановлено, що пилок різних видів міскантусу різняться за якісними та кількісними ознаками (розмірами, гомо- чи гетерогенністю) (рис. 7–9).

Рис. 7. Пилок *M. sinensis*Рис. 8. Пилок *M. sacchariflorus*

Згідно з літературними джерелами, пилок *M. giganteus* має різний рівень плоідності і, як наслідок, широкий діапазон розмірів [27] (рис. 10).



Рис. 9. Пилок *M. giganteus*

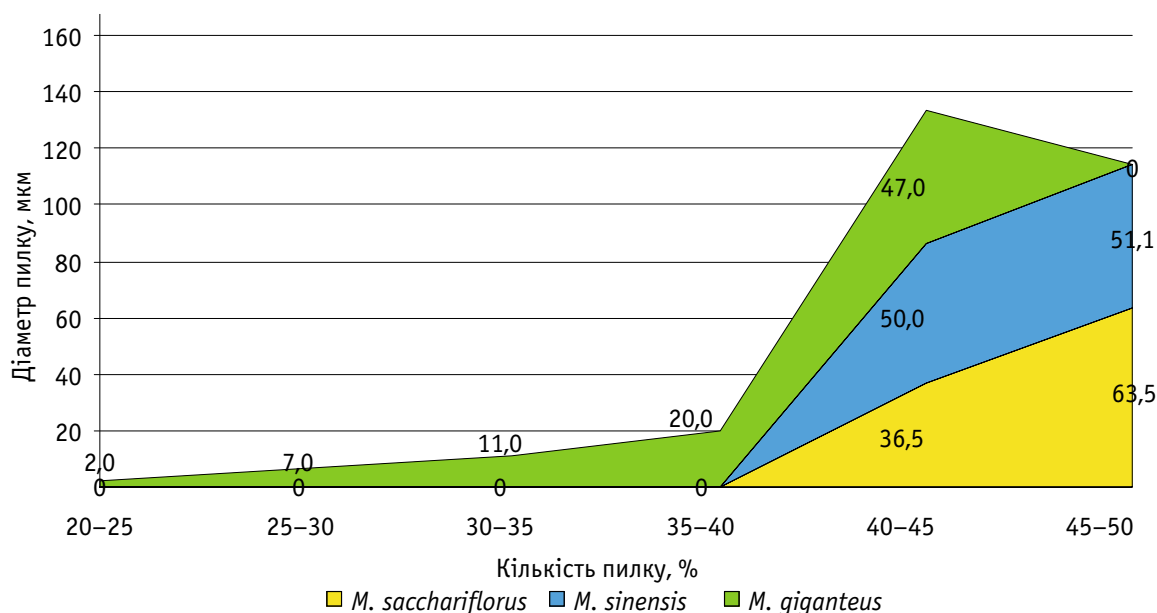


Рис. 10. Розміри пилку різних видів міскантусу

ми показниками, а саме: довжиною (варіюється від 18 до 23 см), шириною (8–16 см), кількістю та довжиною гілочок. Квітку утворюють сидяча зав'яз з двома гроноподібними рильцями на довгих стовпчиках, три тичинки та дві лодікули (квіткові лусочки або плівочки), в основі яких – довгі шовковисті волоски. Нижня лодікула вирізняється колінчасто-вигнутою вістю до 1,5 см завдовжки.

Довжина пір'ячок залежить від їх розташування в маточці: на кінці – 160–200 мкм, в середині та в основі – 270–300 мкм. Їхня ширина становить 20–30 мкм.

Пилок *M. sinensis* і *M. sacchariflorus* характеризується округлою формою, вирівняністю та майже однорідністю (43–48 мкм у діаметрі), а в *M. giganteus* він є більш гетерогенним

Морфо-біометричні особливості таких генеративних органів міскантусу, як пилок і приймочки, є важливими біологічними ознаками виду, сорту та селекційного матеріалу. Від якості та кількості пилку залежать результативність запилення квітки й утворення якісного насіння.

Висновки

У результаті досліджень морфологічних і цитологічних особливостей встановлено, що генеративні органи (маточка, пиляки, пилок) *M. sinensis*, *M. sacchariflorus*, *M. giganteus* різняться за якісними та кількісними ознаками, зокрема кольором, розміром і формою.

Волоті рослин родини *Miscanthus* також неоднакові за формою та морфометричними

за розміром (діаметр 23–45 мкм). Втім кількість мікроспор невелика – 5–10% від загальної в полі зору. Пилкове зерно має одну округлу орнаментовану пору з внутрішнім діаметром 2,7–4,0 мкм.

Отримані дані слід враховувати в подальшій селекції міскантусу.

Використана література

- Hastings A., Clifton-Brown J., Wattenbach M. et al. Future energy potential of *Miscanthus* in Europe. *GCB Bioenergy*. 2009. Vol. 1, No. 2. P. 180–196. doi: 10.1111/j.1757-1707.2009.01012x
- Кудря С. О. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергії в Україні. *Вісник НАН України*. 2015. № 12. С. 19–26. doi: 10.15407/visn2015.12.100
- Clifton-Brown J., Schwarz K. U., Hastings A. History of the development of *Miscanthus* as a bioenergy crop: from small beginnings to potential realisation. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*. 2015. Vol. 115B, No. 1. P. 45–57. doi: 10.3318/bioe.2015.05

4. Clifton-Brown J. C., McCalmont J. P., Hastings A. Development of *Miscanthus* as a bioenergy crop. *Biofuels and Bioenergy* / J. Love, J. A. Bryant (Eds.). Chichester, UK : John Wiley & Sons Ltd., 2017. Vol. 7. P. 119–131. doi: 10.1002/9781118350553.ch7
5. Achieving Carbon-Negative Bioenergy Systems from Plant Materials / C. Saffron (Ed.). Cambridge, UK : Burleigh Dodds Science Publishing Ltd., 2020. 300 p. doi: 10.1201/9781003047612
6. Peng L. Energy Crop and Biotechnology for Biofuel Production. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2011. Vol. 53, Iss. 3. P. 253–256. doi: 10.1111/j.1744-7909.2010.01014.x
7. Adler P. Life cycle inventory of *Miscanthus* production on a commercial farm in the US. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. Article 1029141. doi: 10.3389/fpls.2023.1029141
8. Tejera M. D., Heaton E. A. Description and Codification of *Miscanthus* × *giganteus* Growth Stages for Phenological Assessment. *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8. Article 1726. doi: 10.3389/fpls.2017.01726
9. Clifton-Brown J., Harfouche A., Casler M. D. et al. Breeding progress and preparedness for mass-scale deployment of perennial lignocellulosic biomass crops switchgrass, *Miscanthus*, willow and poplar. *GCB Bioenergy*. 2019. Vol. 11, No. 1. P. 118–151. doi: 10.1111/gcbb.12566
10. Tóth G., Hermann T., Da Silva M. R., Montanarella L. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environment International*. 2016. Vol. 88. P. 299–309. doi: 10.1016/j.envint.2015.12.017
11. Lewandowski I., Clifton-Brown J., Trindade L. M. et al. Progress on optimizing *Miscanthus* biomass production for the European bioeconomy: Results of the EU FP7 project OPTIMISC. *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. Article 1620. doi: 10.3389/fpls.2016.01620
12. Wagner M., Mangold A., Lask J. et al. Economic and environmental performance of *Miscanthus* cultivated on marginal land for biogas production. *GCB Bioenergy*. 2019. Vol. 11, Iss. 1. P. 34–49. doi: 10.1111/gcbb.12567
13. Сиваш О. О. Акумуляція сонячної енергії: фотосинтез чи штучні систем. *Біотехнологія*. 2012. Т. 5, № 6. С. 27–38.
14. Ślusarkiewicz-Jarzina A., Ponitka A., Ceraży-Waliszewska J. et al. Effective and simple *in vitro* regeneration system of *Miscanthus sinensis*, *M. × giganteus* and *M. sacchariflorus* for planting and biotechnology purposes. *Biomass & Bioenergy*. 2017. Vol. 107. P. 219–226. doi: 10.1016/j.biombioe.2017.10.012
15. Ings J., Mur L. A. J., Robson P. R. H., Bosch M. Physiological and growth responses to water deficit in the bioenergy crop *Miscanthus* × *giganteus*. *Frontiers in Plant Science*. 2013. Vol. 4. Article 468. doi: 10.3389/fpls.2013.00468
16. Hastings A., Mos M., Yesufu J. A. et al. Economic and environmental assessment of seed and rhizome propagated *Miscanthus* in the UK. *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8. Article 1058. doi: 10.3389/fpls.2017.01058
17. Huang L. S., Flavell R., Donnison I. S. et al. Collecting wild *Miscanthus* germplasm in Asia for crop improvement and conservation in Europe whilst adhering to the guidelines of the United Nations' Convention on Biological Diversity. *Annals of Botany*. 2019. Vol. 124, No. 4. P. 591–604. doi: 10.1093/aob/mcy231
18. Hodgkinson T. R., Petrunenko E., Klaas M. et al. New breeding collections of *M. sinensis*, *M. sacchariflorus* and hybrids from Primorsky Krai, Far Eastern Russia. *Perennial Biomass Crops for a Resource-Constrained World* / S. Barth, D. Murphy-Bokern, O. Kalinina et al. (Eds.). Cham : Springer, 2016. P. 105–118. doi: 10.1007/978-3-319-44530-4_10
19. Malinowska M., Donnison I., Robson P. R. H. Phenomics analysis of drought responses in *Miscanthus* collected from different geographical locations. *GCB Bioenergy*. 2017. Vol. 9, Iss. 1. P. 78–91. doi: 10.1111/gcbb.12350
20. Van der Weijde T., Huxley L., Hawkins S. et al. Impact of drought stress on growth and quality of *Miscanthus* for biofuel production. *GCB Bioenergy*. 2017. Vol. 9, No. 4. P. 770–782. doi: 10.1111/gcbb.12382
21. Vergun O. M., Rakhmetov D. B., Fishchenko V. V. et al. Biochemical composition of the genus *Miscanthus* Anderss. plant raw material in conditions of introduction. *Plant Introduction*. 2017. № 4. С. 3–10. doi: 10.5281/zenodo.2327138
22. Гонтаренко С. М., Лашук С. О. Отримання рослин *Miscanthus sacchariflorus* (Макс.) Ханк та *Miscanthus sinensis* Andersson у культурі *in vitro* шляхом непрямого морфогенезу. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2017. Т. 13, № 1. С. 12–20. doi: 10.21498/2518-1017.13.1.2017.97219
23. Гонтаренко С. М., Лашук С. О. Метод розмноження, стимуляції росту ризом у культурі *in vitro* та адаптації у відкритому ґрунті представників роду *Miscanthus*. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2017. Т. 13, № 3. С. 230–238. doi: 10.21498/2518-1017.13.3.2017.110703
24. Держинський М. Е., Вороніна О. К., Скрипник Н. В. та ін. Загальна цитологія. Практикум. Київ : Київський університет, 2011. 126 с.
25. Лашук С. О. Біоморфологічна характеристика селекційних зразків представників роду *Miscanthus*, отриманих в умовах *in vitro*. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2019. Т. 15, № 2. С. 163–170. doi: 10.21498/2518-1017.15.2.2019.173566
26. Рахметов Д. Б., Щербакова Т. О., Рахметова С. О. Перспективні енергетичні рослини роду *Miscanthus* Anderss., інтродуковані в Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка НАН України. *Інтродукція рослин*. 2015. № 1. С. 3–18.
27. Żur I., Dubas E., Słomka A. et al. Failure of androgenesis in *Miscanthus* × *giganteus* *in vitro* culture of cytologically unbalanced microspores. *Plant Reproduction*. 2013. Vol. 26, No. 3. P. 297–307. doi: 10.1007/s00497-013-0219-6

References

1. Hastings, A., Clifton-Brown, J., Wattenbach, M., Mitchell, C. P., Stampfl, P., & Smith, P. (2009). Future energy potential of *Miscanthus* in Europe. *GCB Bioenergy*, 1(2), 180–196. doi: 10.1111/j.1757-1707.2009.01012.x
2. Kudria, S. O. (2015). State and perspectives of renewable energy development in Ukraine. *Herald of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 12, 19–26. doi: 10.15407/visn2015.12.100 [In Ukraine]
3. Clifton-Brown, J., Schwarz, K. U., & Hastings, A. (2015). History of the Development of *Miscanthus* as a Bioenergy Crop: From Small Beginnings to Potential Realisation. *Biology & Environment Proceedings of the Royal Irish Academy*, 115(1), 45–57. doi: 10.3318/BIOE.2015.05
4. Clifton-Brown, J. C., McCalmont, J. P., & Hastings, A. (2017). Development of *Miscanthus* as a bioenergy crop. In J. Love, & J. A. Bryant (Eds.), *Biofuels and Bioenergy* (Ch. 7, pp. 119–131). Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd. doi: 10.1002/9781118350553.ch7
5. Saffron, C. (Ed.) (2020). *Achieving Carbon-Negative Bioenergy Systems from Plant Materials*. Cambridge, UK: Burleigh Dodds Science Publishing Ltd. doi: 10.1201/9781003047612
6. Peng, L. (2011). Energy Crop and Biotechnology for Biofuel Production. *Journal of Integrative Plant Biology*, 53(3), 253–256. doi: 10.1111/j.1744-7909.2010.01014.x
7. Adler, P. (2023). Life cycle inventory of *Miscanthus* production on a commercial farm in the US. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1029141. doi: 10.3389/fpls.2023.1029141
8. Tejera, M. D., & Heaton, E. A. (2017). Description and Codification of *Miscanthus* × *giganteus* Growth Stages for Phenological Assessment. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 1726. doi: 10.3389/fpls.2017.01726
9. Clifton-Brown, J., Harfouche, A., Casler, M. D., Jones, H. D., Macalpine, W. J., Murphy-Bokern, D., ... Awty-Carroll, D. (2019). Breeding progress and preparedness for mass-scale deployment of perennial lignocellulosic biomass crops switchgrass, *Miscanthus*, willow and poplar. *GCB Bioenergy*, 11(1), 118–151. doi: 10.1111/gcbb.12566
10. Tóth, G., Hermann, T., Da Silva, M. R., & Montanarella, L. (2016). Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environment International*, 88, 299–309. doi: 10.1016/j.envint.2015.12.017

11. Lewandowski, I., Clifton-Brown, J., Trindade, L. M., van der Linden, G. C., Schwarz, K. U., Müller-Samann, K., ... Kalinina, O. (2016). Progress on optimizing *Miscanthus* biomass production for the European bioeconomy: Results of the EU FP7 project OPTIMISC. *Frontiers in Plant Science*, 7, Article 1620. doi: 10.3389/fpls.2016.01620
12. Wagner, M., Mangold, A., Lask, J., Petig, E., Kiesel, A., & Lewandowski, I. (2019). Economic and environmental performance of *Miscanthus* cultivated on marginal land for biogas production. *GCB Bioenergy*, 11(1), 34–49. doi: 10.1111/gcbb.12567
13. Syvash, O. O. (2012). Accumulation of the sun energy: photosynthesis or artificial systems. *Biotechnology*, 6, 27–38. [In Ukrainian]
14. Ślusarkiewicz-Jarzina, A., Ponitka, A., Ceraży-Waliszewska, J., Wojciechowicz, M. K., Sobanska, K., Jezowski, S., & Pniowski, T. (2017). Effective and simple in vitro regeneration system of *Miscanthus sinensis*, *M. × giganteus* and *M. sacchariflorus* for planting and biotechnology purposes. *Biomass & Bioenergy*, 107, 219–226. doi: 10.1016/j.biombioe.2017.10.012
15. Ings, J., Mur, L. A. J., Robson, P. R. H., & Bosch, M. (2013). Physiological and growth responses to water deficit in the bioenergy crop *Miscanthus × giganteus*. *Frontiers in Plant Science*, 4, Article 468. doi: 10.3389/fpls.2013.00468
16. Hastings, A., Mos, M., Yesufu, J. A., McCalmont, J., Ashman, C., Nunn, C., ... Clifton-Brown, J. (2017). Economic and environmental assessment of seed and rhizome propagated *Miscanthus* in the UK. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 1058. doi: 10.3389/fpls.2017.01058
17. Huang, L. S., Flavell, R., Donnison, I. S., Chiang, Y.-C., Hastings, A., Hayes, C., ... Clifton-Brown, J. (2019). Collecting wild *Miscanthus* germplasm in Asia for crop improvement and conservation in Europe whilst adhering to the guidelines of the United Nations' Convention on Biological Diversity. *Annals of Botany*, 124(4), 591–604. doi: 10.1093/aob/mcy231
18. Hodkinson, T. R., Petrunenko, E., Klaas, M., Münnich, C., Barth, S., Shekhovtsov, S. V., & Peltek S. E. (2016). New Breeding Collections of *M. sinensis*, *M. sacchariflorus* and Hybrids from Primorsky Krai, Far Eastern Russia. In S. Barth, D. Murphy-Bokern, O. Kalinina, G. Taylor, & M. Jones (Eds.), *Perennial Biomass Crops for a Resource-Constrained World* (pp. 105–118). Cham: Springer. doi: 10.1007/978-3-319-44530-4_10
19. Malinowska, M., Donnison, I., & Robson, P. R. H. (2017). Phenomics analysis of drought responses in *Miscanthus* collected from different geographical locations. *GCB Bioenergy*, 9(1), 78–91. doi: 10.1111/gcbb.12350
20. Weijde, T. van der, Huxley, L., Hawkins, S., Sembiring, E. H., Farrar, K., Dolstra, O., ... Trindade, L. M. (2017). Impact of drought stress on growth and quality of *Miscanthus* for biofuel production. *GCB Bioenergy*, 9(4), 770–782. doi: 10.1111/gcbb.12382
21. Vergun, O. M., Rakhmetov, D. B., Fishchenko, V. V., Rakhmetova, S. O., Shymanska, O. V., & Druz, N. G. (2017). Biochemical composition of the genus *Miscanthus* Anderss. plant raw material in conditions of introduction. *Plant Introduction*, 4, 3–9. doi: 10.5281/zenodo.2327138 [In Ukrainian]
22. Hontarenko, S. M., & Lashuk, S. O. (2017). Obtaining plant *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack and *Miscanthus sinensis* Andersson in vitro culture by indirect morphogenesis. *Plant Varieties Studying and Protection*, 13(1), 12–19. doi: 10.21498/2518-1017.13.1.2017.97219 [In Ukrainian]
23. Hontarenko, S. M., & Lashuk, S. O. (2017). Method of propagation, stimulation of rhizomes growth in vitro culture and adaptation in the open ground for the genus *Miscanthus* representatives. *Plant Varieties Studying and Protection*, 13(3), 230–238. doi: 10.21498/2518-1017.13.3.2017.110703 [In Ukrainian]
24. Dzerzhynskyi, M. E., Voronina, O. K., Skrypyuk, N. V., Harmatina, S. M., & Paziuk, L. M. (20011). *General cytology. Practicum*. Kyiv: Kyiv University. [In Ukrainian]
25. Lashuk, S. O. (2019). Biomorphological characteristic of breeding samples of representatives of the genus *Miscanthus*, obtained in vitro. *Plant Varieties Studying and Protection*, 15(2), 163–170. doi: 10.21498/2518-1017.15.2.2019.173566 [In Ukrainian]
26. Rakhmetov, D. B., Shcherbakova, T. O., & Rakhmetova, S. O. (2015). High-potential energy plants of *Miscanthus* Anderss. genus introduced in M. M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine. *Plant Introduction*, 1, 3–18. [In Ukrainian]
27. Žur, I., Dubas, E., Stomka, A., Dubert, F., Kuta, E., & Płazek, A. (2013). Failure of androgenesis in *Miscanthus × giganteus* in vitro culture of cytologically unbalanced microspores. *Plant Reproduction*, 26(3), 297–307. doi: 10.1007/s00497-013-0219-6

UDC 633.282:577.3:631.527

Lashuk, S. O. (2023). Evaluation of breeding material on the basis of morphological and cytological characteristics of the reproductive organs of plants of the genus *Miscanthus*. *Plant Varieties Studying and Protection*, 19(3), 148–154. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.19.3.2023.287638>

Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Henerala Rodymtseva St., Kyiv, 03041, Ukraine, e-mail: lashuk_s@ukr.net

Purpose. To study *in vitro* the morphological and cytological characteristics of anthers, pollen and pistils of plants of the genus *Miscanthus*. **Methods.** Preparations of pistils, unpollinated seed buds, anthers and pollen, unstained or stained with a solution of carmine (2%) in acetic acid (45%) or methylene blue solution, were examined by light microscopy. Measurements for plants of different *Miscanthus* species, as well as counting the number of pollen of different diameters, were made in ten replicates. **Results.** The morphological and cytological characteristics of the reproductive organs of *M. sinensis*, *M. sacchariflorus* and *M. giganteus* species were studied. It was found that the flower of this plant is monoecious, containing both stamens and a pistil. The color of the anthers is yellow or pinkish-yellow, their tissues consist of elongated cells 70–100 μm long. The pistil has a two-column ovary with long (2.0–2.8 mm) pinnate stigmas which vary in color from white to bright pink. The shape of the pistil feather

is moderately branched; length – 160–300 μm; width – 20–30 μm; alternate position; the number of small branches is 10–15 pcs. The pollen of different *Miscanthus* species differ in qualitative and quantitative characteristics, in particular in *M. sinensis* and *M. sacchariflorus* it is characterized by a rounded shape, evenness and uniformity (43–48 μm in diameter), whereas in *M. giganteus* it is more heterogeneous in size (23–45 μm in diameter). The pollen has a rounded, decorated pore with a diameter of 2.7–4.0 μm. **Conclusions.** According to the results of the conducted research, the morphological and cytological characteristics of the reproductive organs of *M. sinensis*, *M. sacchariflorus* and *M. giganteus*, namely: pistils, anthers and pollen, were provided. The data obtained should be taken into account in future breeding for the production of di- and triploid *Miscanthus* hybrids.

Keywords: *Miscanthus*; stamens; pistil; pollen; cytology; reproductive organs.

Надійшла / Received 13.05.2023
Погоджено до друку / Accepted 16.08.2023

Productivity and grain quality of winter triticale varieties (*Triticosecale* Wittmack el. Camus) under different soil and climatic growing conditions

A. M. Kyrylchuk, S. O. Liashenko, I. V. Bezprozvana,
C. L. Chukhleb, N. P. Shcherbynina, V. D. Shkliar

Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Henerala Rodymtseva St., Kyiv, 03041, Ukraine,
*e-mail: angela.kyrylchuk@gmail.com

Purpose. To evaluate the productivity and grain quality of winter triticale varieties grown under different soil and climatic conditions. **Methods.** The research process involved laboratory, computational and statistical methods, and analysis and synthesis to draw conclusions. **Results.** HTC (IV–X) was found to vary significantly monthly, annually and in general between the research sites. It was found that the yield of winter triticale varieties in the Forest-Steppe and Polissia zones was 5.3 t/ha. The maximum yield in the Forest-Steppe zone was achieved by the variety ‘MIP Feniks’ (5.9 t/ha), in the Polissia zone by the variety ‘Pamiati Patseky’ (5.8 t/ha). It was found that the protein content of winter triticale varieties for the 2019–2020 research years in the Forest-Steppe zone was on average 12.6% and ranged from 12.2% (‘Liubomyr’) to 13.3% (‘MIP Yatahan’), which according to the classifier corresponded to grain of medium quality and can be used in the confectionery industry. The coefficient of variation (V,%) for this characteristic was 3.5%. In the Polissia zone, the protein content of the varieties averaged 13.6% over the years of research and ranged from 12.9% – medium content (‘MIP Feniks’) to 14.3% – high content (‘MIP Yatahan’). The intrazone variation was low and amounted to 4.0%. Correlation and regression analysis showed that an increase in the active temperature during the vegetation period up to 3203 °C allows an increase in the productivity indicators and in the weight of 1000 grains from 5.6 to 6.1 t/ha and from 46.8 to 53.5 g, respectively; an increase in precipitation during the vegetation period up to 515.1 mm leads to a decrease in the weight of 1000 grains from 45.2 to 38.1 g; with an increase in the amount of active temperatures and precipitation during the vegetation period from 3167.65 to 3202.9 °C and from 413.85 to 515.1 mm, respectively, it is possible to increase the protein content in grain from 12.4 to 13.8%; with an increase in the yield and weight of 1000 grains from 5.8 to 6.1 t/ha and from 51.8 to 53.8 g, the protein content of the grain can be reduced from 13.1 to 12.0%. **Conclusions.** Different responses of varieties to zonal growing conditions were observed. A positive influence of the rainfall factor during the growing season on the yield of winter triticale in Forest-Steppe and Polissia ($r = 0.66$ and 0.34 units) and on the increase of the protein content of grain grown in the Polissia zone ($r = 0.56$) was revealed.

Keywords: cereals; nutritional value; hydrothermal coefficient; cultivation capacity; protein content; correlation and regression analysis.

Introduction

The ever-increasing world population and the demand for food for humans and animals mean that the main task of modern agricultural production is to provide high-quality plant raw materials and an effective diversification of cultivated plants [1].

The main direction of the creation of a new artificial genus of triticale (*Triticosecale* Wittmack el. Camus) in the *Poaceae* family was the combination in a distant hybrid of high productivity and quality of wheat grain with signs of adaptability and resistance to adverse abiotic and biotic environmental factors inherent in rye [2].

Anzhela Kyrylchuk
<https://orcid.org/0000-0003-3948-5810>

Svitlana Liashenko
<https://orcid.org/0000-0002-6371-230X>

Iryna Bezprozvana
<https://orcid.org/0000-0002-4240-7605>

Serhii Chukhlieb
<https://orcid.org/0000-0001-9863-6709>

Nataliia Shcherbynina
<https://orcid.org/0000-0003-1599-061X>

Viktor Shkliar
<https://orcid.org/0000-0002-0812-0627>

The world area under triticale cultivation is constantly increasing and currently amounts to 3.8 million hectares [3]. Thanks to active breeding, new high quality varieties of triticale for food, technical and fodder purposes have been created. As of May 16, 2023, there are 73 varieties of triticale in the State Register of Plant Varieties suitable for distribution in Ukraine [4]. The main part of varieties, 75% (55 pcs.) of the winter type of development, 23% (17 pcs.) – spring, winter and spring type (alternate type) is represented by only one variety (2%). Interest in this multifunctional crop is due to a number of positive characteristics [5, 6].

New varieties are characterised by increased winter hardiness, drought resistance, resistance to the most dangerous diseases, high yield, biologically valuable protein content, which determines the fodder and nutritional value of this crop [7].

Triticale has a high adaptability to different climatic anomalies, which contributes to a stable grain yield [6, 8, 12]. Triticale is undemanding of soils and grows fairly well on all soil types. When sown on fertile soils, it surpasses rye in grain yield, and on poor soils or after poor predecessors, it surpasses wheat [12, 13]. Its nutritional properties make it a valuable animal feed and it is currently the most widely used feed for animals (mainly poultry, pigs and ruminants). Triticale grain is rich in starch and cellulose, so it can be used in the energy industry to produce biofuel [14, 15] and straw, as well as directly for heating [16]. In recent years, the cultivation of triticale for human consumption has become popular [17]. Thanks to its nutritional properties, triticale grain can also be used in the bakery industry, where cereal products are a valuable source of phenolic acids [18–20]. However, it should be added that the factors limiting such use of triticale are its high amyolytic activity and low gluten content, which negatively affect the bread baking process [21, 22].

Less precipitation, less soil moisture and lower groundwater levels are the result of drier conditions. Therefore, in the context of a changing climate, it is very important to have strategies for agricultural production that respond to these changes [1].

The growth and development of winter triticale from seedling to technical maturity takes 250–325 days, depending on the variety and growing conditions, including 40–60 days in autumn, with the sum of active temperatures during this period ranging from 1800–2300 °C. Seeds begin to germinate at a soil temperature of 1–3 °C [23]. Seedlings appear after 5–7 days.

The optimum temperature for growth and development of winter triticale is 20–22 °C and the maximum temperature is up to 35 °C. The critical minus temperature for winter forms of triticale in the winter period is minus 18–20 °C in the bushing node zone. In the winter-spring period, triticale is less sensitive to low temperatures than winter wheat, due to the presence of rye genes in the genome of this crop [24].

Under the influence of weather conditions, the plant goes through two phases of hardening [5, 11]. A slightly positive average daily temperature of 6–0 °C (10–15 °C during the day and plus 1–minus 2 °C at night) is optimal for the first phase. Under such conditions, sugars (protective substances) accumulate in the nodes of the shoots and leaves during the day and their consumption slows down at night. On average, 20–25% of sugars (per unit of dry weight) accumulate in plants before they go dormant. Under such temperature conditions, which last 12–15 (20) days, the frost resistance of plants increases from minus 5 °C to minus 10–12 °C. When the duration of the first hardening phase increases to 30–40 days, the frost resistance of plants decreases [25].

The second stage of hardening occurs only after the first stage has been completed in frozen plants at a slightly negative average daily air temperature of minus 3–5 °C. Dehydration of the tissues and an increase in the concentration of cell sap during this period increase the winter hardiness of the plants.

Thanks to a well-developed root system, winter triticale outpaces wheat in growth even after germination, and a significant wax coating on the shoots contributes to increased drought resistance of the plants. However, in dry weather, during the period of intensive growth of the vegetative mass (the phase of tuberisation and grain spilling), triticale plants form small grains, the weight of which per 1000 grains does not exceed 35–40 g, instead of the usual weight of 50–55 g [11].

According to a number of scientists, several factors influence the quantity and quality of the cereal crop: variety, agro-technical measures, climatic and soil conditions, fertilisation and measures taken when agrophages appear [9, 17, 21].

The evaluation of climatic and agroclimatic indicators, or the zoning of the territory, gives an idea of the differences and quantitative parameters of heat and moisture resources of each region of Ukraine. The agroclimatic zoning of the territory of Ukraine, which is still in use today, was carried out in 1986 with the aim of rational use of climatic resources, optimal loca-

tion of the main agricultural crops and increasing agricultural productivity. For this purpose, data of meteorological observations (temperature, precipitation) for the period 1956–1985 were used, as well as the criterion of humidification of territories, which allows a fairly objective assessment of the availability of moisture and heat – the Selyaninov’s hydrothermal coefficient (HTC) [26].

The purpose of the research is to evaluate the indicators of productivity and grain quality of modern varieties of winter triticale grown under different soil and climatic conditions of Ukraine and to study their dependence.

Materials and methods

Six varieties of winter triticale – ‘MIP Yatahan’, ‘MIP Feniks’, ‘Pamiati Patseky’, ‘Soloduk’, ‘Liubomyr’ and ‘Myronosets’ included in the State Register of Plant Varieties suitable for distribution in Ukraine in 2020–2021 were studied. Forest-Steppe and Polissia are recommended growing areas for them.

Field research was conducted in 2019–2020 in the research fields of branches of the Ukrainian Institute for Plant Variety Examination (UIPVE) in two soil and climate zones: Forest-Steppe (Sumy, Kharkiv, Khmelnytskyi and Chernivtsi regions); Polissia (Zhytomyr, Ivano-Frankivsk, Rivne, Chernihiv and Transcarpathian regions) in accordance with Methodology of qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. General part and Methods of examination of plant varieties of the grain, cereal and legume group for suitability for distribution in Ukraine [27, 28]. The soils of the experimental plots were typical of the corresponding growing zone (Forest-Steppe and Polissia). The registered area of the plot was 25 m² and the placement of the plots was randomised, with four replications.

Laboratory studies were carried out in the laboratory of quality indicators of plant varieties of UIPVE in accordance with the Methodology for qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. Methods of determining quality indicators of plant production [29].

Protein content in grain was determined by the express method on 500 g samples in ten replicates using an Infratec 1241 Infrared Grain Analyser (FOSS, Denmark).

Selyaninov’s hydrothermal coefficient (HTC) was calculated using the formula

$$HTC = \frac{\sum R}{0,1 \times \sum t_{act} > 10}$$

where $\sum R$ is the amount of precipitation in mm during the period with temperatures above 10 °C; $0,1 \times \sum t_{act} > 10$ – the sum of active temperatures during the same period reduced by a factor of 10.

When $HTC < 0.4$ – very severe drought; HTC between 0.4 and 0.5 – severe drought; HTC from 0.6 to 0.7 – moderate drought; HTC from 0.8 to 0.9 – weak drought; HTC from 1.0 to 1.5 – sufficient humidity; $HTC > 1.5$ – excessively wet [26].

Wetting conditions were estimated by comparing the amount of precipitation for a given period with multi-year averages according to the formula:

$$V = \frac{100 \times \sum R_{i=01}}{\sum R_{i=01}^{01}}$$

where V is the deviation from the norm, %; $\sum R_{i=01}^{01}$ – multiannual average precipitation for a given period, mm; $\sum R_{i=01}$ – precipitation in a given year for the same period, mm; 100 – conversion into percentages; If $V > 20\%$, the deviation from the norm is significant.

The statistical analysis of the research data was carried out using the methods of dispersion, correlation analysis and variational statistics of the field experiment using a personal computer.

Results and discussion

Weather conditions are one of the most important factors influencing the productivity of winter triticale, changing annually both in terms of improving and worsening vegetation conditions, and the level of yield is largely dependent on them.

The climate in the study areas is temperate continental, characterised by rather hot and dry summers and mild winters with frequent thaws. In recent years, climatic changes have been observed, as a result of which the pre-sowing period of winter crops is characterised by an exceedance of the long-term average air temperature indicators, a lack of or insufficient rainfall and an uneven distribution over the territory.

Information on temperature fluctuations, precipitation dynamics in the Forest-Steppe and Polissia zones in comparison with long-term data compiled from observations of agrometeorological stations in the cities of Sumy, Khmelnytskyi, Ivano-Frankivsk and Rivne are shown in Fig. 1, 2. According to the received data, the average air temperature in 2019 and 2020 on the territory of the Ukrainian Forest-Steppe and Polissia was higher than the norm (1961–1990) by 3.8 and 0.3 °C and amounted to plus 10.1–10.9 (Forest-Steppe) and 9.71–10.1 (Polissia) °C, respectively.

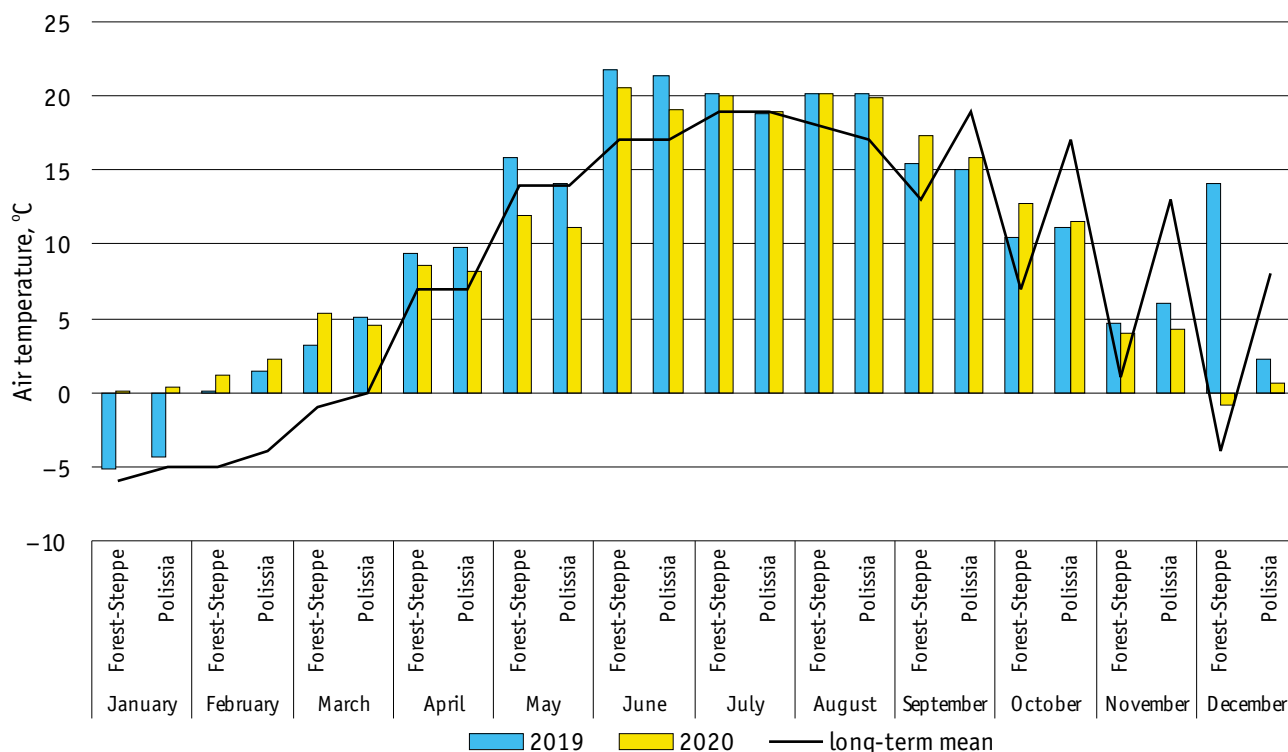


Fig. 1. The average monthly and multi-year air temperature for the 2019–2020 research years

The average annual precipitation for 2019 and 2020 is 519 (Forest-Steppe) and 690 (Polissia) mm (91 and 121% of the annual norm, respectively).

519 (Forest-Steppe) and 690 (Polissia) mm (91 and 121% of the annual norm, respectively).

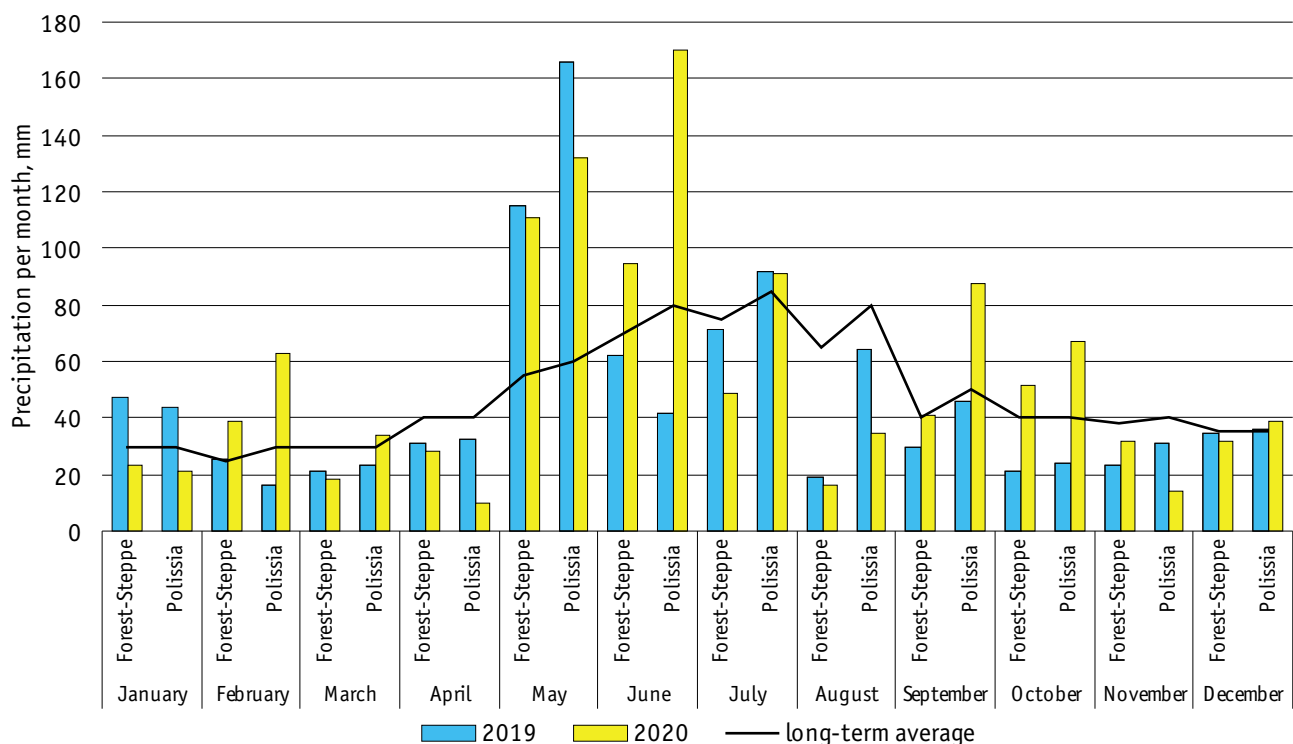


Fig. 2. Average monthly and multi-year precipitation for the 2019–2020 research years

In recent years, the meteorological and climatic conditions of the Ukrainian Forest-Steppe and Polissia zones have been quite favourable

for the cultivation of winter cereals. This is true, first of all, of the winter and spring-summer periods, which are characterised by a

moderate temperature regime and sufficient precipitation. However, in certain periods of the growing season, the uneven distribution of climatic factors sometimes creates unfavourable conditions for plant growth and development, which ultimately affects yield.

In general, during the 2019–2020 study period, the average annual air temperature ranged from 9.9 to 10.5 °C, an increase of 1.49 to 2.08 °C compared to the multi-year average data. The average precipitation for 2019 and 2020 was 559 and 649 mm respectively (98 and 114% of the annual norm). Despite the considerable variety of weather conditions, their deviation from the multi-year averages in certain periods of growth and development, the weather conditions of 2019–2020 were favourable for the growth and development of winter triticale.

An average warming of 1.5 °C increases the risk of heat waves (abnormally hot periods) and heavy precipitation. Rising temperatures will cause many rivers and lakes to dry up, accelerating the natural water cycle. In such a scenario, the uneven distribution of the annual precipitation rate will increase, i.e. the seasonal precipitation rate for the region may fall in a few days as a result of heavy rainfall [30].

The results of the calculations shown in Figure 3 allow us to conclude that, in general, the study years did not differ significantly from the norm in terms of precipitation. In general, the deviations from the norm were found to be insignificant in both zones, with precipitation being 10% below normal in 2019 and 9% above normal in 2020.

In 2019, March (82%), July (97%) and December (96%) were within the norm; February (67%), April (74%), June (62%), August (48%), September (78%), October (48%) and November (64%) were below the norm; only January

(133%) and May (212%) were significantly above the norm.

In 2020, average precipitation was within the norm in March (92%), July (89%) and December (96%); it was below the norm in January (79%), April (35%), August (32%) and November (59%); it was significantly above the norm in February (168%), May (192%), June (181%), September (117%) and October (139%).

In Ukraine, hydrological conditions are a limiting factor for the productivity of agricultural crops. It is possible to estimate the hydrological factor using the indicator of the Selyaninov's HTC, which uses the assessment of moisture conditions in the period of average daily air temperatures above 10 °C, i.e. the period of active vegetation. HTC is a comprehensive indicator for the assessment of humidity conditions, taking into account both the inflow of water in the form of precipitation and the total amount spent on evaporation [31].

To characterise the meteorological factors, we used the HTC of the main periods of plant vegetation: sowing – the end of autumn vegetation and spring vegetation – wax ripening. According to the gradation of H. G. Selyaninov, the meteorological factors in 2019–2020 were generally characterised as slightly arid for the Forest-Steppe zone and moderately humid for the Polissia zone (Table 1).

It was found that HTC (IV–X) varies significantly monthly, annually and in general at the locations where the experiments were carried out. The best hydrothermal conditions for grain growth were observed in the Khmelnytskyi (HTC = 1.0–1.3 – adequate moisture) and Rivne (HTC = 1.2–1.4 – adequate moisture) branches. They were slightly worse in the Sumy (HTC = 0.5–0.8 – severe and mild drought) and Ivano-Frankivsk (HTC = 1.4–1.9 – too wet) branches.

Table 1

Selyaninov's HTC according to the average daily data for the research in 2019–2020

Branch	April		May		June		July		August		September		October		Average	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
Forest-Steppe																
Sumy	0.1	0.0	0.8	2.6	0.3	1.1	1.0	1.0	0.1	0.1	0.6	0.3	0.6	0.2	0.5	0.8
Khmelnytskyi	0.4	0.2	2.8	2.1	1.2	2.5	1.1	0.9	0.6	0.2	0.4	1.2	0.3	1.9	1.0	1.3
Polissia																
Ivano-Frankivsk	0.8	0.4	5.1	2.1	0.9	4.2	1.5	2.1	0.3	0.4	1.1	2.4	0.4	1.8	1.4	1.9
Rivne	1.6	0.1	2.1	3.2	0.7	2.1	1.9	1.2	1.2	0.9	0.9	1.0	0.3	1.0	1.2	1.4

The values of HTC in the 2019 season fluctuated in wide gradations: from weak drought (HTC = 0.8) in the Sumy branch to excessive drought (HTC = 5.1) in the Ivano-Frankivsk branch.

As a result of the research it was determined that the average yield of winter triticale varie-

ties in the Forest-Steppe and Polissia zone in 2019–2020 will be 5.3 t/ha.

The maximum yield in the Forest-Steppe zone was achieved by the variety 'MIP Feniks' – 5.9 t/ha, in the Polissia zone by the variety 'Pamiati Patseyky' – 5.8 t/ha (Table 2).

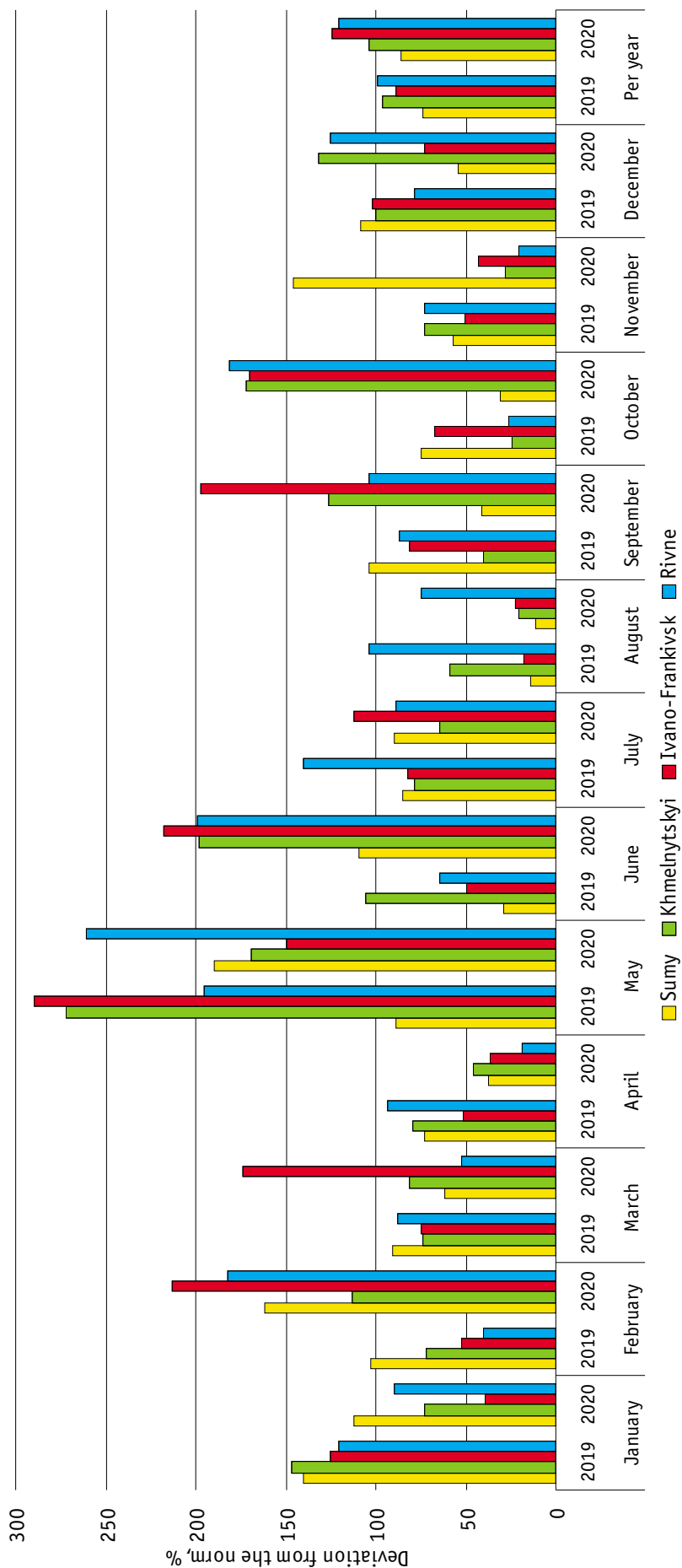


Fig. 3. Precipitation amount, deviation from the norm %

Table 2

**Grain productivity and quality indicators for winter triticale varieties,
average for 2019–2020**

Variety	Yield, t/ha		Weight of 1000 grains, g		Nature, g/l	Protein content, %	
	Forest-Steppe	Polissia	Forest-Steppe	Polissia		Forest-Steppe	Polissia
'MIP Yatahan'	4.8	5.1	47.9	42.8	656	13.3	14.3
'MIP Feniks'	5.9	5.1	49.9	45.3	688	12.3	12.9
'Pamiati Patseky'	5.1	5.8	50.9	41.6	671	12.9	13.9
'Solodyuk'	5.2	5.5	43.9	35.3	679	12.4	13.8
'Lyubomyr'	5.3	5.2	43.2	33.9	629	12.2	13.7
'Myronosets'	5.3	5.2	41.8	36.7	642	12.4	13.0
\bar{S}_x	5.3	5.3	46.3	39.3	661	12.6	13.6
V, %	6.4	5.2	8.2	11.7	3.5	3.4	4.0
σ	0.3	0.3	3.8	4.6	22.8	0.4	0.5
LCD _{0,05}	0.4	0.3	4.5	5.4	27	0.5	0.6
min	4.8	5.1	41.8	33.9	629	12.2	12.9
max	5.9	5.8	50.9	45.3	688	13.3	14.3

The bigger the grain, the better it is filled, the higher the numerical value of the weight of 1000 grains. A poorly filled grain has a shrivelled endosperm, there may be layers of air between it and the husk, which reduces the weight of 1000 grains. The greater the weight of 1000 grains, the more nutrients it contains. Therefore, the 1000 kernel weight index is important in assessing the quality of the seed grain: the higher it is, the better the quality of the grain and the greater the guarantee of obtaining a large, vigorous plant [12, 32, 33].

The average weight of 1,000 grains of the investigated varieties of winter triticale in the 2019–2020 research years was 46.3 g in the Forest-Steppe zone and 39.3 g in the Polissia zone. The maximum value of the weight of 1,000 grains in the Forest-Steppe zone (50.9 g) was recorded for the variety 'Pamiati Patseky' and in the Polissia zone – 45.3 g for the variety 'MIP Feniks'.

Winter triticale for human consumption has a well filled grain, close to that of wheat, and a good marketable appearance. Grain quality averaged 661 g/l per variety, ranging from 629 g/l for 'Lyubomyr' to 688 g/l for 'MIP Feniks'. According to the quality indicators, triticale grain of the winter variety 'MIP Feniks'; with a nature index of 688 g/l belongs to the 1st quality class, grain of the varieties 'Solodyuk', 'Pamiati Patseky' and 'MIP Yatahan' with a grain nature index of 679–656 g/l belongs to the 2nd quality class, which is recommended for food use. Cere-

als with a grain nature index < 650 g/l ('Myronosets' and 'Lyubomyr') belong to the 3rd quality class, which is not regulated and is recommended for feed and technical needs.

The protein content of winter triticale varieties was 12.6% on average for the 2019–2020 research years in the Forest-Steppe zone and ranged from 12.2% ('Lyubomyr') to 13.3% ('MIP Yatahan'), according to the classifier corresponded to grain of average quality. The coefficient of variation (V, %) for this characteristic was 3.5%, so the population is homogeneous, the average is typical, the variation is considered low. In the Polissia zone, the protein content of the varieties averaged 13.6% over the years of research and ranged from 12.9% – medium content ('MIP Feniks') to 14.3% – high content ('MIP Yatahan'). The within-zone variation was low and amounted to 4.0%.

Climate change affects crop yields in different ways due to rainfall and temperature extremes. Abnormal events – such as unusually low temperatures in autumn or intense heat in spring – can lead to significant losses in winter triticale crops. Climate change may have a positive impact on agriculture through higher winter temperatures and increased winter precipitation, as well as a longer frost-free season.

The results of the determination of correlation dependencies between the studied traits by zones in the grain of winter triticale varieties are ambiguous. A different response of the varieties to the zonal growing conditions was observed (Table 3).

Table 3

Correlations between the studied winter triticale traits by zones

Indexes	ΣR		Yield, t/ha		Weight of 1000 grains, g		Protein content, %		Nature, g/l
	Forest-Steppe	Polissia	Forest-Steppe	Polissia	Forest-Steppe	Polissia	Forest-Steppe	Polissia	
$\Sigma t_{act > 10}$	0.33	-0.29	-0.13	0.33	-0.02	0.01	0.11	-0.49	-0.22
ΣR			0.66	0.34	0.08	-0.06	-0.56	0.56	0.14
Yield, t/ha					0.10	-0.12	-0.74	0.32	0.30
Weight of 1000 grains, g							0.50	-0.07	0.61

It was found that in the Forest-Steppe zone there is a direct positive relationship ($r = 0.33$) between the sum of active temperatures and the amount of precipitation during the same period. However, in the Polissia zone, the opposite dependence is observed ($r = -0.29$). This phenomenon can be explained by the difference in the number of litterfalls; on average, precipitation in the Forest-Steppe zone was 5% less than in the average multi-year data, and 15% more in the Polissia zone.

The index of the sum of the active temperatures is positively correlated with the grain yield in the Polissia zone ($r = 0.33$) and inversely correlated with the protein content in the grain ($r = -0.49$). This means that as the active temperature factor increases, the grain yield increases and its protein content decreases.

The positive dynamics of the influence of the rainfall factor during the growing season on the yield of winter triticale in both growing zones ($r = 0.66$ and 0.34 units) and an increase in the protein content of grain grown in the Polissia zone ($r = 0.56$) were revealed. However, an increase in precipitation in the Forest-Steppe zone led to a decrease in protein content of the grain ($r = -0.56$).

Between the productivity factor and the content of protein and nature in the grain grown in the Polissia zone, an average positive correlation was found ($r = 0.32$ and 0.30 units, respectively), i.e. with an increase in grain yield, the protein content and nature of the grain increased. However, in the Forest-Steppe zone, as the yield increased from 5.3 to 5.9 t/ha, the protein content of the grain decreased from 12.3 to 12.2% ($r = -0.74$).

An increase in the weight of 1000 grains in the Forest-Steppe zone from 47.9 to 50.9 g predicts an increase in the protein content of the grain ($r = 0.50$), whereas in the Polissia zone an inverse relationship was found between these indicators ($r = -0.07$).

A positive average correlation ($r = 0.61$) was found between the weight of 1000 grains and the nature of the grain, i.e. an increase in the weight of 1000 grains from 41.6 to 45.3 g can lead to an increase in the nature of the grain to 671 – 688 g/l.

Using the method of correlation-regression analysis, we have determined the direction and magnitude of changes in grain productivity and protein content in winter triticale varieties when the parameters of the sum of active temperatures and the sum of precipitation during the growing season change. R^2 is the coefficient of determination, which determines the proportion of variation in one of the variables that is explained by the variation in another variable. In this case, $R^2 = 0.58$ and 0.17 units, i.e. 58% and 17% of the variation in yield and 1000 grain weight respectively can be explained, or 58% and 17% of the variability in yield and 1000 grain weight respectively can be explained by the difference in the sum of active temperatures during the vegetation period. The remaining 42% and 83% are explained by the influence of other factors (Figs. 4, 5).

According to the results of the correlation analysis, a strong direct relationship ($r = 0.76$) was established between grain yield and the sum of active temperatures during the growing season, as well as an average relationship ($r = 0.41$) between the weight of 1000 grains and the sum of active temperatures during the growing season.

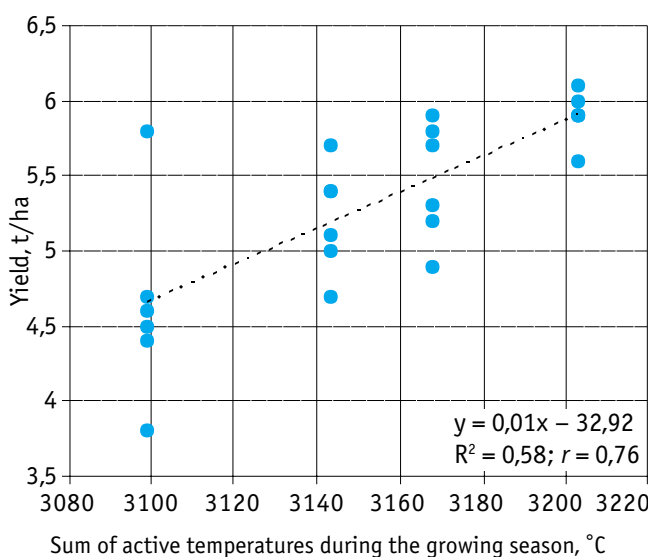


Fig. 4. Scatter plot and dependence of grain yield on the sum of active temperatures during the growing season

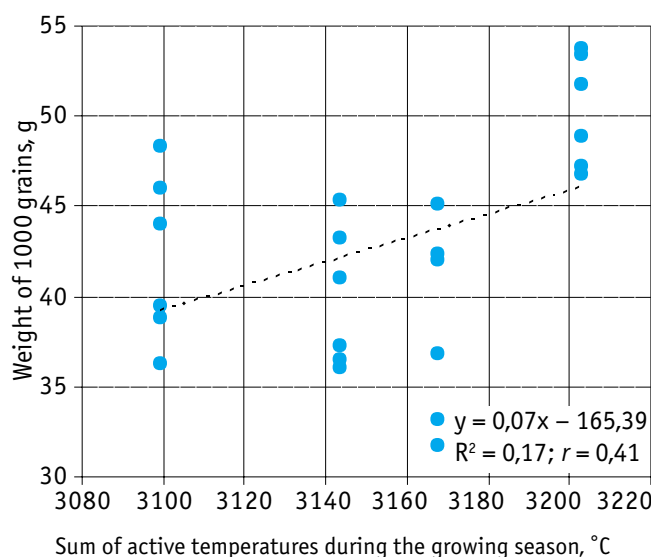


Fig. 5. Scatter plot and the dependence of the weight of 1000 grains on the sum of the active temperatures during the growing season

The regression line confirms that by increasing the sum of active temperatures during the growing season to 3203 °C mm, it is possible to increase the productivity indicators and the weight of 1000 grains from 5.6 to 6.1 t/ha and from 46.8 to 53.5 g, respectively. Under favourable conditions, triticale has a high yield potential and the ability to maximise it.

According to the results of research by a number of scientists, a significant variability of crop productivity has been observed depending on the availability of water and the distribution of rainfall during the growing season, but no significant effect on the productivity indicator was found [2, 34]. According to our calculations, a

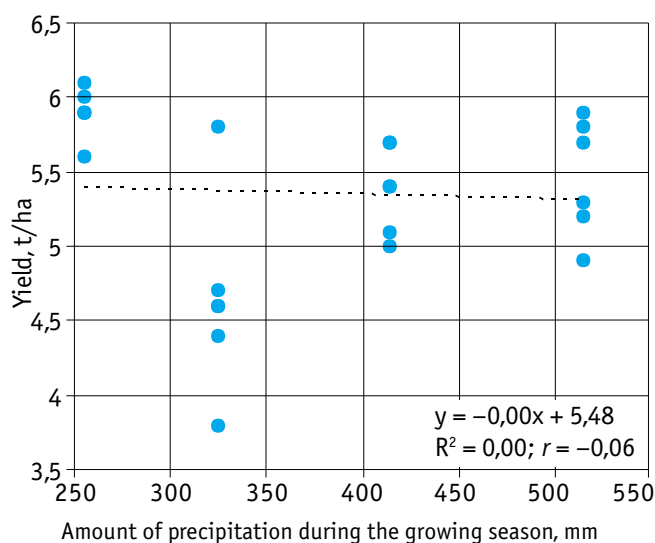


Fig. 6. Scatter plot and dependence of grain yield on the amount of precipitation during the growing season

Thus, it can be concluded that the amount of active temperatures during the vegetation period has a 58% influence on the production of winter triticale grain yield, the amount of precipitation during the vegetation period has a 44% influence on the formation of the mass of 1000 grains.

The correlation coefficient between the protein content variables and the sum of active temperatures during the growing season showed a weak dependence ($r = 0.14$), as well as an average dependence with the sum of precipitation ($r = 0.39$) (Figs. 8, 9). The coefficient of determination between protein content, the sum of active temperatures and the sum of precipitation during the growing season was $R^2 = 0.02$ and 0.15 units, respectively. This means that the factor of the sum of the active temperatures influences the protein content in the seeds by only 2% and the sum of the precipitation by 15%. The theoretical regression line shows that

weak ($r = -0.06$) and medium ($r = -0.67$) inverse relationship was found between the variables yield, weight of 1000 grains and the amount of rainfall during the growing season (Figs. 6, 7). The coefficient of determination between yield, 1000 grain weight and rainfall during the growing season was $R^2 = 0.00$ and 0.44 units respectively. This means that the rainfall factor had no significant effect on yield (there is no dependence) and the influence of the rainfall factor on the weight of 1000 grains was 44%. The regression line shows that with an increase in the amount of rainfall during the growing season to 515.1 mm, a decrease in the weight of 1000 grains from 38.1 to 45.2 g is possible.

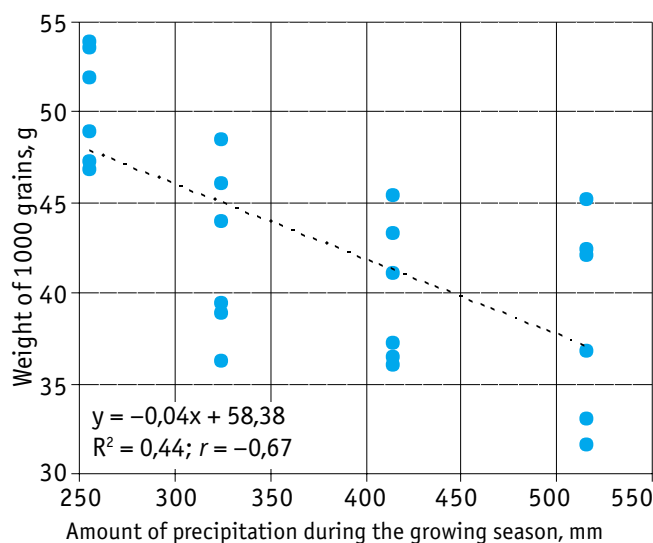


Fig. 7. Scatter plot and the dependence of the weight of 1000 grains on the amount of precipitation during the growing season

with an increase in the sum of active temperatures and precipitation during the growing season from 3167.65 to 3202.9 °C and from 413.85 to 515.1 mm, respectively, it is possible to increase the protein content in grain from 12.4 to 13.8%.

The regression line between the variables grain protein content, yield and weight of 1000 grains confirmed a weak ($r = -0.15$ and -0.18) inverse relationship between the indicators (Figs. 10, 11). The coefficient of determination between protein content, yield and 1000 kernel weight was $R^2 = 0.02$ and 0.03 units respectively. This means that the factors yield and weight of 1000 kernels do not have a significant influence on the protein content of the kernels (2 and 3% respectively).

The regression line shows that by increasing yield and 1000 grain weight from 5.8 to 6.1 t/ha and from 51.8 to 53.8 g, the protein content in grain can be reduced from 13.1 to 12.0%.

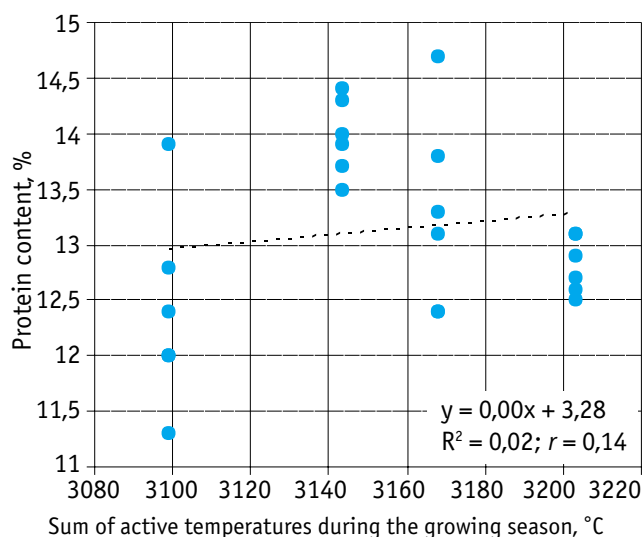


Fig. 8. Scatter plot and dependence of protein content on the sum of active temperatures during the growing season

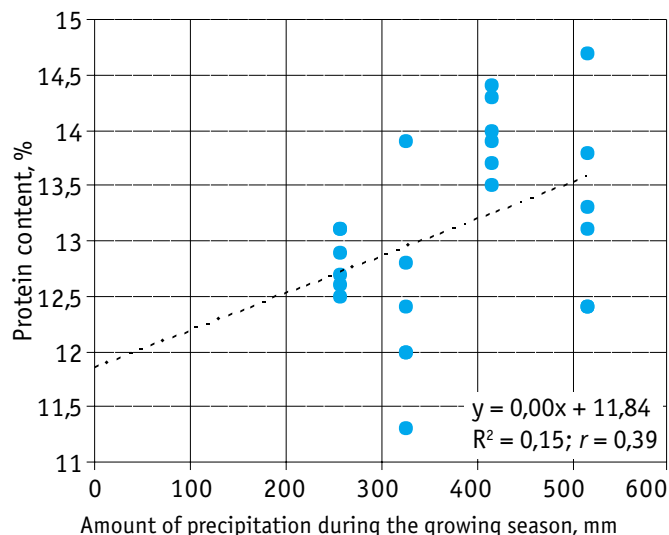


Fig. 9. Scatter plot and dependence of protein content on the amount of precipitation during the growing season

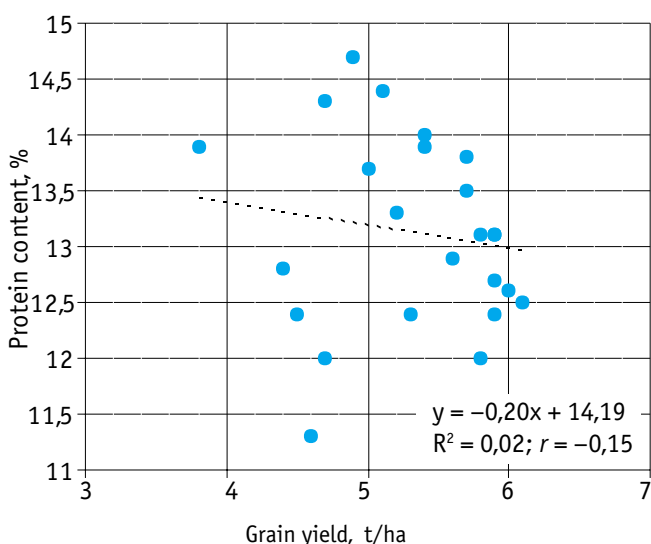


Fig. 10. Scatter plot and dependence of protein content on grain yield

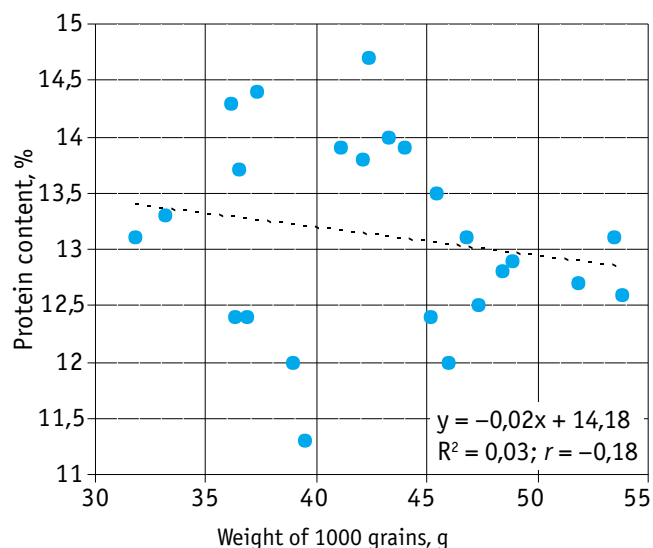


Fig. 11. Scatter plot and dependence of protein content on weight of 1000 grains

Conclusions

Using correlation-regression analysis, it was found that the weather conditions of the year influence the development of productivity and protein content in the grain of winter triticale varieties. The protein content of the grain is a characteristic that depends on the varietal characteristics and the meteorological conditions during the growing season. Winter triticale varieties adapted to local soil and climatic conditions have a high yield potential and the ability to maximise it by producing grain with good technological indicators.

References

1. Stoyanov, H., & Doneva, S. (2022). Analysis on some qualitative traits of Bulgarian triticale cultivars. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 59(4), 13–27.

2. Wójcik-Gront, E., & Studnicki, M. (2021). Long-Term Yield Variability of Triticale (*× Triticosecale* Wittmack) Tested Using a CART Model. *Agriculture*, 11(2), Article 92. doi: 10.3390/agriculture11020092
3. FAOSTAT. Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
4. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2023). *State register of plant varieties suitable for distribution in Ukraine as of May, 2023*. Retrieved from <https://minagro.gov.ua/file-storage/reestr-sortiv-roslin> [In Ukrainian]
5. Rybalka, O. I., Morgun, V. V., Morgun, B. V., & Pochynok, V. M. (2015). Agronomic potential and perspectives of triticale. *Plant Physiology and Genetics*, 47(2), 95–111. [In Ukrainian]
6. Różewicz, M. (2022). Yield, grain quality and potential use of triticale in Poland. *Polish Journal of Agronomy*, 49, 9–19. doi: 10.26114/pja.iung.487.2022.49.02
7. Suxanberdina, L. H., & Denizbayev, S. E. (2019). Feed value and technological properties of selection samples of winter triticale. *Science Journal of Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University*, 2, 73–83.
8. Golebiowska-Paluch, G., & Dyda, M. (2023). The Genome Regions Associated with Abiotic and Biotic Stress Tolerance, as Well as

- Other Important Breeding Traits in Triticale. *Plants*, 12(3), Article 619. doi: 10.3390/plants12030619
9. Dekić, V., Milovanović, M., Popović, V., Miliwojević, J., Staletić, M., Jelić, M., & Perišić, V. (2014). Effects of fertilization on yield and grain quality in winter triticale. *Romanian Agricultural Research*, 31, 175–183.
 10. Ayalew, H., Kumssa, T. T., Butler, T. J., & Ma, X.-F. (2018). Triticale improvement for forage and cover crop uses in the southern great plains of the United States. *Frontiers in Plant Science*, 9, Article 1130. doi: 10.3389/fpls.2018.01130
 11. Blum, A. (2014). The abiotic stress response and adaptation of triticale – A review. *Cereal Research Communications*, 42(3), 359–375.
 12. Darvey, N. L., Naeem, H., & Perry, J. (2000). Triticale: Production and utilisation. In K. Kulp (Ed.), *Handbook of cereal science and technology* (pp. 257–300). Boca Raton: CRC Press. doi: 10.1201/9781420027228
 13. Derejko, A., Studnicki, M., Wójcik-Gront, E., & Gacek, E. (2020). Adaptive Grain Yield Patterns of Triticale (*× Triticosecale* Wittmack) Cultivars in Six Regions of Poland. *Agronomy*, 10(3), Article 415. doi: 10.3390/agronomy10030415
 14. Klikocka, H., Kasztelan, A., Zakrzewska, A., Wylupek, T., Szostak, B., & Skwaryło-Bednarz, B. (2019). The energy efficiency of the production and conversion of spring triticale grain into bioethanol. *Agronomy*, 9(8), Article 423. doi: 10.3390/agronomy9080423
 15. Szympliński, W., Dubis, B., Lachutta, K. M., & Jankowski, K. J. (2021). Energy optimization in different production technologies of winter triticale grain. *Energies*, 14(4), Article 1003. doi: 10.3390/en14041003
 16. Dassanayake, G. D. M., & Kumar, A. (2012). Techno-economic assessment of triticale straw for power generation. *Applied Energy*, 98, 236–245. doi: 10.1016/j.apenergy.2012.03.030
 17. Fraś, A., Gołębiowska, K., Gołębiowski, D., Mańkowski, D.R., Boros, D., & Szczółka, P. (2016). Variability in the chemical composition of triticale grain, flour, and bread. *Journal of Cereal Science*, 71, 66–72. doi: 10.1016/j.jcs.2016.06.016
 18. Kaszuba, J., Jaworska, G., Krochmal-Marczak, B., Kogut, B., & Kuźniar, P. (2021). Effect of bran addition on rheological properties of dough and quality of triticale bread. *Journal of Food Process and Preservation*, 45(1), Article e15093. doi: 10.1111/jfpp.15093
 19. Kaszuba, J., Kapusta, I., & Posadzka, Z. (2021). Content of phenolic acids in the grain of selected polish triticale cultivars and its products. *Molecules*, 26(3), Article 562. doi: 10.3390/molecules26030562
 20. Jańczak-Pieniżek, M., Horvat, D., Viljevac Vuletić, M., Kovačević Babić, M., Buczek, J., & Szpunar-Krok, E. (2023). Antioxidant potential and phenolic acid profiles in triticale grain under integrated and conventional cropping systems. *Agriculture*, 13(5), Article 1078. doi: 10.3390/agriculture13051078
 21. Zhu, F. (2018). Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chemistry*, 241, 468–479. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.09.009
 22. Ambriz-Vidal, T. N., Mariezcurrena-Berasain, M. D., Heredia-Olea, E., Martinez, D. L. P., & Gutierrez-Ibañez, A. T. (2019). Potential of Triticale (*× Triticosecale* Wittmack) Malts for Beer Wort Production. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 77(4), 282–286. doi: 10.1080/03610470.2019.1670030
 23. Voloshchuk, O. P., Voloshchuk, I. S., Konyk, H. S., Dzyubailo, A. H., Hlyva, V. V., Vorobyova, Y. V., ... Sluchak, O. M. (2023). Comparative evaluation of the productivity of winter crops (wheat [*Triticum aestivum* L.], rye [*Secale cereale* L.], triticale [*Triticosecale* Witt.]) in the western forest-steppe of Ukraine. *Journal of Agricultural Sciences*, 68(1), 81–96. doi: 10.2298/JAS2301081V
 24. Gołębiowska, G., Dyda, M., & Wajdzik, K. (2021). Quantitative Trait Loci and Candidate Genes Associated with Cold-Acclimation and *Microdochium nivale* Tolerance/Susceptibility in Winter Triticale (*× Triticosecale*). *Plants*, 10(12), Article 2678. doi: 10.3390/plants10122678
 25. Mazurenko, B., Kalenska, S., Honchar, L., & Novytska, N. (2020). Grain yield response of facultative and winter triticale for late autumn sowing in different weather conditions. *Agronomy Research*, 18(1), 183–193. doi: 10.15159/ar.20.008
 26. Adamenko, T. I. (2014). *Agroklimatyczne zonuvannia terytorii Ukrainy z vrakhuvanniam zminy klimatu* [Agroclimatic zoning of the territory of Ukraine taking into account climate change]. Kyiv: N. p. Retrieved from https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cee_files/idmp-cee/idmp-agroclimatic.pdf [In Ukrainian]
 27. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2016). *Metodyka provedennia kvalifikatsiinoi ekspertyzy sortiv roslyn na prydatnist do poshyrennia v Ukraini. Zahalna chastyna* [Methodology for the qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. General part] (4th ed., rev. & enl.). Vinnytsia: Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
 28. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2016). *Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv roslyn hrupy zernovykh, krupianykh ta zernobobovykh na prydatnist do poshyrennia v Ukraini* [Methodology for examination of plant varieties of the cereal, grain and leguminous group for suitability for distribution in Ukraine]. Vinnytsia: Korzun D. Yu. Retrieved from <https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f4147d3595.pdf> [In Ukrainian]
 29. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2017). *Metodyky provedennia kvalifikatsiinoi ekspertyzy sortiv roslyn na prydatnist do poshyrennia v Ukraini. Metody vyznachennia pokaznykiv yakosti produktsii roslynnytstva* [Methods of conducting qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. Methods of determining plant production quality indicators] (3rd ed., rev. & enl.). Vinnitsa: Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
 30. Ramazani, S. H. R., & Zabet, M. (2022). Triticale (*× Triticosecale* Wittmack): Role and Responses Under Abiotic Stress. In A. A. H. Abdel Latef (Ed.), *Sustainable Remedies for Abiotic Stress in Cereals* (pp. 209–228). Singapore: Springer. doi: 10.1007/978-981-19-5121-3_9
 31. Suhanberdina, L. H., Dzharparov, R. Sh., Denizbaev, S. E., & Turbaev, A. F. (2022). Formation of the grain quality of winter triticale in the conditions of the dry steppe zone of Kazakhstan. *Agricultural Sciences*, 2(1), 48–56. doi: 10.52578/2305-9397-2022-1-2-48-57 [In Russian]
 32. Kyrylchuk, A. M. (2021). Gluten content in winter triticale grains (*Triticosecale* Wittmack el. Camus) for use in the bakery industry. *Agroecological Journal*, 4, 98–104. doi: 10.33730/2077-4893.4.2021.252962 [In Ukrainian]
 33. Abdelaal, H. K., Bugaev, P. D., & Fomia, T. N. (2019). Nitrogen fertilization effect on grain yield and quality of spring triticale varieties. *Indian Journal of Agricultural Research*, 53(5), 578–583. doi: 10.18805/IJARE.A-426
 34. Prusiński, J., Borowska, M., & Majcherczak, E. (2022). The effect of the soil tillage methods for forecrop and N-mineral fertilization on the yield of winter triticale (*× Triticosecale* sp. Wittmack ex A. Camus 1927). *Agronomy Science*, 77(3), 53–65. doi: 10.24326/as.2022.3.4

Використана література

1. Stoyanov H., Doneva S. Analysis on some qualitative traits of Bulgarian triticale cultivars. *Bulgarian Journal of Crop Science*. 2022. Vol. 59, Iss. 4. P. 13–27.
2. Wójcik-Gront E., Studnicki M. Long-Term Yield Variability of Triticale (*× Triticosecale* Wittmack) Tested Using a CART Model. *Agriculture*. 2021. Vol. 11, Iss. 2. Article 92. doi: 10.3390/agriculture11020092
3. FAOSTAT. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
4. Державний реєстр сортів рослин придатних для поширення в Україні станом на 16.05.2023 / Міністерство аграрної політики та продовольства України. URL: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reustr-sortiv-roslin>
5. Рибалка О. І., Моргун В. В., Моргун Б. В., Починок В. М. Агроромічний потенціал і перспективи тритикале. *Фізіологія рослин і генетика*. 2015. Т. 47, № 2. С. 95–111.

6. Rózewicz M. Yield, grain quality and potential use of triticale in Poland. *Polish Journal of Agronomy*. 2022. No. 49. P. 9–19. doi: 10.26114/pja.iung.487.2022.49.02
7. Suxanberdina L. H., Denizbayev S. E. Feed value and technological properties of selection samples of winter triticale. *Science Journal of Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University*. 2019. No. 2. P. 73–83.
8. Golebiowska-Paluch G., Dyda M. The Genome Regions Associated with Abiotic and Biotic Stress Tolerance, as Well as Other Important Breeding Traits in Triticale. *Plants*. 2023. Vol. 12, Iss. 3. Article 619. doi: 10.3390/plants12030619
9. Dekić V., Milovanović M., Popović V. et al. Effects of fertilization on yield and grain quality in winter triticale. *Romanian Agricultural Research*. 2014. No. 31. P. 175–183.
10. Ayalew H., Kumssa T. T., Butler T. J., Ma X.-F. Triticale improvement for forage and cover crop uses in the southern great plains of the United States. *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. Article 1130. doi: 10.3389/fpls.2018.01130
11. Blum A. The abiotic stress response and adaptation of triticale – A review. *Cereal Research Communications*. 2014. Vol. 42, Iss. 3. P. 359–375.
12. Darvey N. L., Naeem H., Perry J. Triticale: Production and utilisation. *Handbook of cereal science and technology* / K. Kulp (Ed.). Boca Raton : CRC Press, 2000. P. 257–300. doi: 10.1201/9781420027228
13. Derejko A., Studnicki M., Wójcik-Gront E., Gacek E. Adaptive Grain Yield Patterns of Triticale (*×Triticosecale* Wittmack) Cultivars in Six Regions of Poland. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, Iss. 3. Article 415. doi: 10.3390/agronomy10030415
14. Klikocka H., Kasztelan A., Zakrzewska A. et al. The energy efficiency of the production and conversion of spring triticale grain into bioethanol. *Agronomy*. 2019. Vol. 9, Iss. 8. Article 423. doi: 10.3390/agronomy9080423
15. Szempliński W., Dubis B., Lachutta K. M., Jankowski K. J. Energy optimization in different production technologies of winter triticale grain. *Energies*. 2021. Vol. 14, Iss. 4. Article 1003. doi: 10.3390/en14041003
16. Dassanayake G. D. M., Kumar A. Techno-economic assessment of triticale straw for power generation. *Applied Energy*. 2012. Vol. 98. P. 236–245. doi: 10.1016/j.apenergy.2012.03.030
17. Fraś A., Gołębiowska K., Gołębiowski D. et al. Variability in the chemical composition of triticale grain, flour, and bread. *Journal of Cereal Science*. 2016. Vol. 71. P. 66–72. doi: 10.1016/j.jcs.2016.06.016
18. Kaszuba J., Jaworska G., Krochmal-Marczak B. et al. Effect of bran addition on rheological properties of dough and quality of triticale bread. *Journal of Food Process and Preservation*. 2021. Vol. 45, Iss. 1. Article e15093. doi: 10.1111/jfpp.15093
19. Kaszuba J., Kapusta I., Posadzka Z. Content of phenolic acids in the grain of selected polish triticale cultivars and its products. *Molecules*. 2021. Vol. 26, Iss. 3. Article 562. doi: 10.3390/molecules26030562
20. Jańczak-Pieniążek M., Horvat D., Viljevac Vuletić M. et al. Antioxidant potential and phenolic acid profiles in triticale grain under integrated and conventional cropping systems. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, Iss. 5. Article 1078. doi: 10.3390/agriculture13051078
21. Zhu F. Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chemistry*. 2018. Vol. 241. P. 468–479. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.09.009
22. Ambriz-Vidal T. N., Mariezcurrena-Berasain M. D., Heredia-Olea E. et al. Potential of Triticale (*×Triticosecale* Wittmack) Malts for Beer Wort Production. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2019. Vol. 77, Iss. 4. P. 282–286. doi: 10.1080/03610470.2019.1670030
23. Voloshchuk O. P., Voloshchuk I. S., Konyk H. S. et al. Comparative evaluation of the productivity of winter crops (wheat [*Triticum aestivum* L.], rye [*Secale cereale* L.], triticale [*Triticosecale* Witt.]) in the western forest-steppe of Ukraine. *Journal of Agricultural Sciences*. 2023. Vol. 68, Iss. 1. P. 81–96. doi: 10.2298/JAS2301081V
24. Gołębiowska G., Dyda M., Wajdzik K. Quantitative Trait Loci and Candidate Genes Associated with Cold-Acclimation and *Microdochium nivale* Tolerance/Susceptibility in Winter Triticale (*×Triticosecale*). *Plants*. 2021. Vol. 10, Iss. 12. Article 2678. doi: 10.3390/plants10122678
25. Mazurenko B., Kalenska S., Honchar L., Novytska N. Grain yield response of facultative and winter triticale for late autumn sowing in different weather conditions. *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18, Iss. 1. P. 183–193. doi: 10.15159/ar.20.008
26. Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. Київ, 2014. 20 с. URL: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cee_files/idmp-cee/idmp-agroclimatic.pdf
27. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Загальна частина / за ред. С. О. Ткачик. 4-те вид., пер. і доп. Вінниця : ФОРМ Корзун Д. Ю., 2016. 120 с.
28. Методика проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні / за ред. С. О. Ткачик. Вінниця : ФОРМ Корзун Д. Ю., 2016. 82 с.
29. Методики проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення. Методи визначення показників якості продукції рослинництва / за ред. С. О. Ткачик. 3-тє вид., пер. і доп. Вінниця : ФОРМ Корзун Д. Ю., 2017. 159 с.
30. Ramazani S. H. R., Zabet M. Triticale (*×Triticosecale* Wittmack): Role and Responses Under Abiotic Stress. *Sustainable Remedies for Abiotic Stress in Cereals* / A. A. H. Abdel Latif (Ed.). Singapore : Springer, 2022. P. 209–228. doi: 10.1007/978-981-19-5121-3_9
31. Суханбердина Л. Х., Джапаров Р. Ш., Денизбаев С. Е., Турбаев А. Ф. Формирование качества зерна озимого тритикале в условиях сухостепной зоны Казахстана. *Сельскохозяйственные науки*. 2022. Т. 2, № 1. С. 48–56. doi: 10.52578/2305-9397-2022-1-2-48-57
32. Кирильчук А. М. Вміст клейковини в зерні тритикале озимого (*Triticosecale* Wittmack el. Camus) для використання у хлібопекарській промисловості. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 4. С. 98–104. doi: 10.33730/2077-4893.4.2021.252962
33. Abdelaal H. K., Bugaev P. D., Fomia T. N. Nitrogen fertilization effect on grain yield and quality of spring triticale varieties. *Indian Journal of Agricultural Research*. 2019. Vol. 53, Iss. 5. P. 578–583. doi: 10.18805/IJARE.A-426
34. Prusiński J., Borowska M., Majcherczak E. The effect of the soil tillage methods for forecrop and N-mineral fertilization on the yield of winter triticale (*×Triticosecale* sp. Wittmack ex A. Camus 1927). *Agronomy Science*. 2022. Vol. 77, Iss. 3. P. 53–65. doi: 10.24326/as.2022.3.4

УДК 631.529:633.111

Кирильчук А. М.*, **Ляшенко С. О.**, **Безпрозвана І. В.**, **Чухлеб С. Л.**, **Щербиніна Н. П.**, **Шкляр В. Д.**
 Продуктивність і якість тритикале озимого (*Triticosecale Wittmack* el. Camus) за різних ґрунтово-кліматичних умов вирощування. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2023. Т. 19, № 3. С. 155–167. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.19.3.2023.287639>

Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Генерала Родимцева, 15, м. Київ, 03041, Україна,
 *e-mail: angela.kyrylchuk@gmail.com

Мета. Оцінити продуктивність та якість зерна сортів тритикале озимого, вирощуваного в різних ґрунтово-кліматичних умовах. **Методи.** У процесі досліджень використовували лабораторний, розрахунковий і статистичний методи, для підготовки висновків – аналізу та синтезу. **Результати.** Виявлено суттєву зміну ГТК (IV–X) щомісячно, щорічно і загалом по локаціях проведення досліджень. Визначено, що врожайність сортів тритикале озимого в зонах Лісостепу й Полісся становила 5,3 т/га. Максимальні її показники в лісостеповій зоні отримано для сорту ‘МІП Фенікс’ (5,9 т/га), у поліській – для ‘Пам’яті Пацеки’ (5,8 т/га). Середній уміст білка в зерні досліджуваних рослин за 2019–2020 рр. у Лісостепу становив 12,6% (від 12,2% у сорту ‘Любомир’ до 13,3% у ‘МІП Ятаган’), що, за класифікатором, відповідає зерну середньої якості, придатному для використання в кондитерській промисловості. Коефіцієнт варіації (V,%) за цією ознакою – 3,5%. Усереднена кількість білка для вирощуваних на Поліссі сортів тритикале озимого – 13,6% (від 12,9% у ‘МІП Фенікс’ до 14,3% (високий уміст) у ‘МІП Ятаган’). Варіація в межах зони становила 4,0% – слабка. Кореля-

ційно-регресійним аналізом встановлено, що збільшення суми активних температур до 3203 °С у період вегетації може спричинити підвищення показників урожайності та маси 1000 зерен із 5,6 до 6,1 т/га та з 46,8 до 53,5 г відповідно; збільшення суми опадів у період вегетації до 515,1 мм призводить до зменшення маси 1000 зерен із 45,2 до 38,1 г; за умови підвищення суми активних температур і кількості опадів під час вегетації з 3167,65 до 3202,9 °С та з 413,85 до 515,1 мм можливе збільшення вмісту білка в зерні з 12,4 до 13,8%; у разі збільшення врожайності й маси 1000 зерен із 5,8 до 6,1 т/га та з 51,8 до 53,8 г відповідно вміст білка в зерні може зменшуватися від 13,1 до 12,0%. **Висновки.** Встановлено різну реакцію сортів на зональні умови вирощування. Виявлено позитивний вплив фактору кількості опадів у період вегетації на врожайність тритикале озимого в Лісостепу та на Поліссі ($r = 0,66$ та $0,34$ одиниці), а також на збільшення вмісту білка в зерні рослин, вирощених на Поліссі ($r = 0,56$).

Ключові слова: злаки; харчова цінність; гідротермічний коефіцієнт; урожайність; вміст білка; кореляційно-регресійний аналіз.

Надійшла / Received 11.08.2023
 погоджено до друку / Accepted 20.09.2023

Формування врожайності та енергетичний потенціал біомаси *Sorghum saccharatum* (L.) Moench в умовах Центрального Лісостепу України

О. П. Попова, М. І. Кулик

Полтавський державний аграрний університет, вул. Г. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003, Україна,
e-mail: oks27071994@gmail.com; kulykmaksym@ukr.net

Мета. Вивчення динаміки формування біометричних показників, урожайності біомаси та енергетичного потенціалу рослин сортів сорго цукрового в умовах Центрального Лісостепу України. **Методи.** Використовували польовий, лабораторний і статистичний методи. Об'єктом досліджень слугували п'ять зареєстрованих сортів сорго цукрового, а саме: 'Гулівер', 'Довіста', 'Зубр', 'Су' та 'Цукрове'. Вимірювання біометричних показників рослин, облік урожайності біомаси й енергетичного потенціалу здійснювали відповідно до затверджених науково-методичних рекомендацій. **Результати.** Найшвидший ріст сорго цукрового у висоту відмічено в такі міжфазні періоди, як сходи–вихід у трубку та вихід у трубку–цвітіння. На час закінчення вегетації рослини сортів 'Гулівер' (237,2–245,1 см), 'Цукрове' (218,0–227,2 см) й 'Довіста' (205,6–220,9 см) переважали над іншими за висотою. Найбільшою площею листової фотосинтезуючої поверхні характеризувалися 'Гулівер', 'Цукрове' й 'Зубр', вони ж сформували найбільшу біомасу й відзначилися найвищою енергетичною ефективністю вирощування за показниками енергопродуктивності (EP_c дорівнює або більше ніж 60,0 ГДж/га) та коефіцієнтом енергоефективності (K_{ee} дорівнює або більше ніж 4,0). **Висновки.** Найбільшу врожайність біомаси за сухим залишком виявлено в сортів сорго цукрового 'Гулівер' (15,4 т/га), 'Цукрове' (15,2 т/га) та 'Зубр' (12,5 т/га). Ці ж сорти вирізнялися високою енергопродуктивністю (ріницею між накопиченою в біомасі енергією та енергією, витраченою на її виробництво) – 65,3; 64,9 і 56,8 ГДж/га відповідно, зі значенням K_{ee} 4,0 або більше, що характеризує середній рівень ефективності виробництва біомаси.

Ключові слова: сорго цукрове; сорти; біометричні показники; продуктивність; енергетична ефективність.

Вступ

Завдяки чималим земельним площам і сприятливим ґрунтово-кліматичним умовам Україна має значні можливості для використання рослинного ресурсу, а також великий потенціал для виробництва енергії з біомаси – 29 млн т нафтового еквівалента (т н. е.), за даними Г. М. Калетніка, Г. Г. Гелетухи й Т. А. Железної. Розвиток біоенергетики особливо залежить від застосування біомаси сільськогосподарських рослин, енергопотенціал якої орієнтовно 11 млн т н. е./рік [1, 2]. Поновлювані джерела енергії нині становлять особливий інтерес не тільки з позиції їх використання, але також і з погляду економічної доцільності розвитку нових напрямків бізнесу. Маловитратним, а також рентабельним є вирощування сировини для виробництва біопалива, тобто таких енергетичних культур, які можуть бути джерелами поновлюваної енергії (сорго цукрове, сорго багаторічне, міскантус, «енергетична» верба, світчграс (просо прутноподібне) тощо) [3, 4].

Сорго цукрове – поширена в багатьох країнах світу кормова культура, не примхлива до кліматичних умов і складу ґрунтів. Водночас це енергетична рослина, якнайліпше придатна для виробництва рідких біопалив завдяки вмісту в листостебловій масі значної кількості цукрового соку (до 20 %) [5–7]. Стебла сорго цукрового прямостоячі, блідо-зеленого кольору, гладкі й тонкі, висота у фазі збиральної стиглості досягає 2,7–3,5 м. Листки широкі, неопушені. Волоть крупна, прямостояча, густа. Насіння коричневе, вкрите плівкою. Хімічний склад цукрового сорго, %: вода – 63–65; сахароза – 8,8–11,2; інші цукри – 1,3–2,3; клітковина – 6,8–7,3; крохмаль – 4,5–5,2; білки – 2,6–2,9; пектинові речовини – 0,4–0,60; рН соку – 4,8–5,2 [8]. Середня врожайність зеленої маси становить 40–60 т/га. Результати досліджень вчених вказують на те, що на тепер у природі не існує іншої рослини, яка могла б так швидко синтезувати сахарозу [9].

Сорго цукрове культивують як у Лісостеповій зоні, так і в південних регіонах України [10, 11]. В останні роки через збільшення посушливості клімату площі під його вирощування можуть розширитися, й він займе власну нішу в польових сівоzmінах агрогосподарств [12, 13].

Напряма, пов'язаний із виробництвом твердого палива, розвивається завдяки вирощу-

Oksana Popova

<https://orcid.org/0000-0001-6285-654X>

Maksym Kulyk

<https://orcid.org/0000-0003-0394-5846>

ванню нових видів високопродуктивних багаторічних рослин, що дає змогу гарантовано отримувати задану кількість біомаси необхідної якості. Листостеблова маса сорго цукрового також є гарною сировиною для одержання твердого біопалива й біогазу [14, 15].

У процесі оцінювання енергетичного потенціалу *S. saccharatum* установлено вихід енергії, перетвореної на біогаз, – 23,8–205,9 ГДж/га за сухою масою. Показник фактичного виходу біогазу – 1131–9806 м³/га. Високим виходом біометану характеризувалися сорти ‘Меотида’, ‘Сіваський’, ‘Віл’, ‘Верблюд’, ‘Фаворит’ і ‘Мамонт’ [16–18].

Підвищення врожайності й енергопродуктивності біомаси сорго цукрового залежить від ґрунтово-кліматичних умов, агротехніки, термінів збирання й особливостей перероблення біосировини та є нагальним з огляду на широкий спектр використання культури [19–21].

Важливим фактором збільшення врожайності є добір сортименту. Як зазначають А. В. Черенков зі співавторами, найефективнішим та економічно вигідним є впровадження нових сортів і гібридів з генетично визначеним рівнем адаптування до ґрунтово-кліматичних умов у зонах їх вирощування [22]. Водночас вони повинні бути придатними до інтенсивної технології вирощування, забезпечувати високу ефективність виробництва основної продукції, бути пристосованими до визначеного рівня землеробства [23–25].

Збільшення площі листової поверхні й подовження періоду її активної діяльності дають змогу підвищити коефіцієнт використання рослинами сорго сонячної радіації, що в кінцевому підсумку позначиться

на врожайності. Найбільша площа листової поверхні (9,0–9,2 тис. м²/га) була в сортів ‘Довіста’ й ‘Гулівер’ залежно від ценогенних чинників у період викидання волоті [26, 28].

На врожайність також впливають генотип і його походження [28]. Сорти української селекції ‘Силосне 42’, ‘Фаворит’, ‘Троїстий’, ‘Довіста’ та ‘Гулівер’ разом з іноземними рекомендовано до вирощування для отримання значного обсягу вегетативної маси й виробництва з неї біопалива. Водночас у процесі культивування важливо враховувати агро-екологічні особливості [29, 30].

Мета дослідження – вивчення динаміки формування біометричних показників, врожайності та енергопродуктивності біомаси рослин сортів сорго цукрового в умовах Центрального Лісостепу України.

Матеріали та методика дослідження

Експерименти проводили впродовж 2021–2022 рр. на базі Полтавського державного аграрного університету (м. Полтава), розташованого у центральній частині Лісостепу України. Ця ґрунтово-кліматична зона характеризується недостатнім рівнем зволоження, нерівномірністю опадів й частими посухами. Дослідні ділянки заклали на чорноземах типових зі вмістом гумусу 7,25%, лужногідролізованого азоту – 154,0 мг/кг ґрунту, фосфору – 515,0 мг/кг ґрунту, калію – 623,0 мг/кг ґрунту, рН сольове – 7,10.

Погодні показники в період досліджень були характерними для цього регіону, втім мали незначні відхилення від середньобаторічних даних в окремі періоди росту й розвитку рослин (рис. 1).

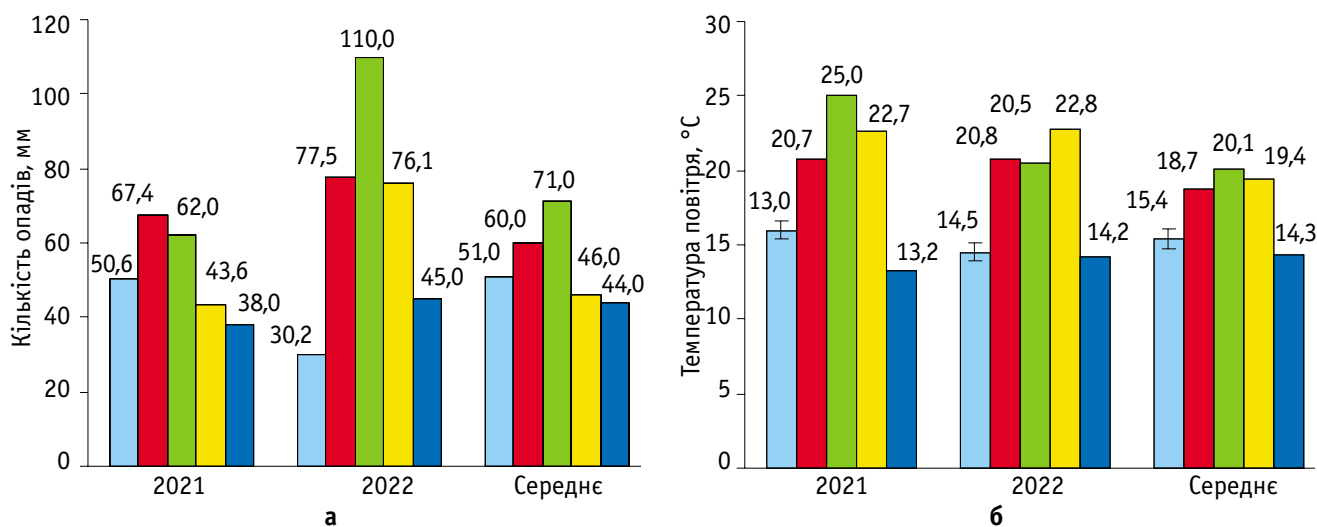


Рис. 1. Погодні умови протягом вегетації сорго цукрового (2021–2022 рр.): а – середньомісячна кількість опадів, б – середньомісячна температура повітря

Значення середньомісячної кількості опадів, за винятком травневих, у 2022 р. були вищими ніж у 2021-му. Усереднена температура повітря по місяцях була в межах середньорічних показників, окрім липня 2021 року та серпня 2021 і 2022 рр.

Польові досліді закладали і проводили згідно з методикою дослідної справи в агрономії та науковими рекомендаціями.

Сівбу насіння сорго цукрового здійснювали на глибину 4–6 см із шириною міжрядь 45 см у третій декаді квітня. Густота стояння рослин – 222 тис. шт./га, площа посівної ділянки – 10,6 м², облікової – 10,0 м². Розміщення варіантів рендомізоване, в чотирикратній повторності. Агротехнологічні операції під час підготовки ділянки та вирощування рослин полягали в осінньому та весняному обробітку ґрунту, сівбі, прополюванні в міру появи бур'янів і збиранні врожаю біомаси (третьа декада вересня).

Матеріалом для дослідження слугували створені в різних наукових установах і передані для спільних досліджень СГП – Національним центром насіннєзнавства та сортівивчення сорти сорго цукрового 'Гулівер' (код заявника 2260), 'Довіста' (код заявника 311), 'Зубр' (код заявника 1591), 'Су' (код заявника 800), 'Цукрове' (код заявника 1854), зареєстровані в Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Площу листової поверхні встановлювали згідно з «Методикою визначання площі листової поверхні цукрового сорго», відповідно до рекомендацій О. М. Ганженка.

Кількісні показники визначали з вибірки рослин (50 шт.), вилучених по діагона-

лі з кожної облікової ділянки в чотирьох місцях.

Урожайність «сирої» та «сухої» рослинної біомаси сорго цукрового встановлювали після її скошування та збирання з кожної облікової ділянки досліді. Розрахунок вмісту вологи здійснювали після висушування біомаси. Для цього із заздалегідь подрібненого середнього рослинного зразка (сноповий зразок масою 1 кг, відібраний по діагоналі ділянки) вилучали дві наважки по 5 г, які висушували в сушильній шафі протягом 2 год за температури 105 °С. Зразки охолоджували впродовж 30 хв в ексикаторі та зважували на аналітичних вагах.

Статистичне обчислення результатів проводили методом дисперсійного аналізу, використовуючи комп'ютерне програмне забезпечення Statistica 6.0.

Обрахунок енергетичної ефективності виробництва біомаси сорго цукрового здійснювали за О. К. Медведовським, П. І. Іваненком та авторською методикою. У процесі послугоувалися такими показниками:

- сукупна енергія, накопичена в біомасі енергетичної культури (E_{np}), МДж/га;
- сукупні енергетичні витрати на вирощування біомаси енергетичної культури (E_c), МДж/га;
- енергетична продуктивність (прибуток) вирощування біомаси енергетичної культури (P_p), МДж/га:

$$P_p = E_{np,cs.} - E_c$$

де $E_{np,cs.}$ – сукупна енергія, накопичена в біомасі енергетичних культур, МДж/га; E_c – сукупні витрати енергії на вирощування біомаси енергетичних культур, МДж/га.

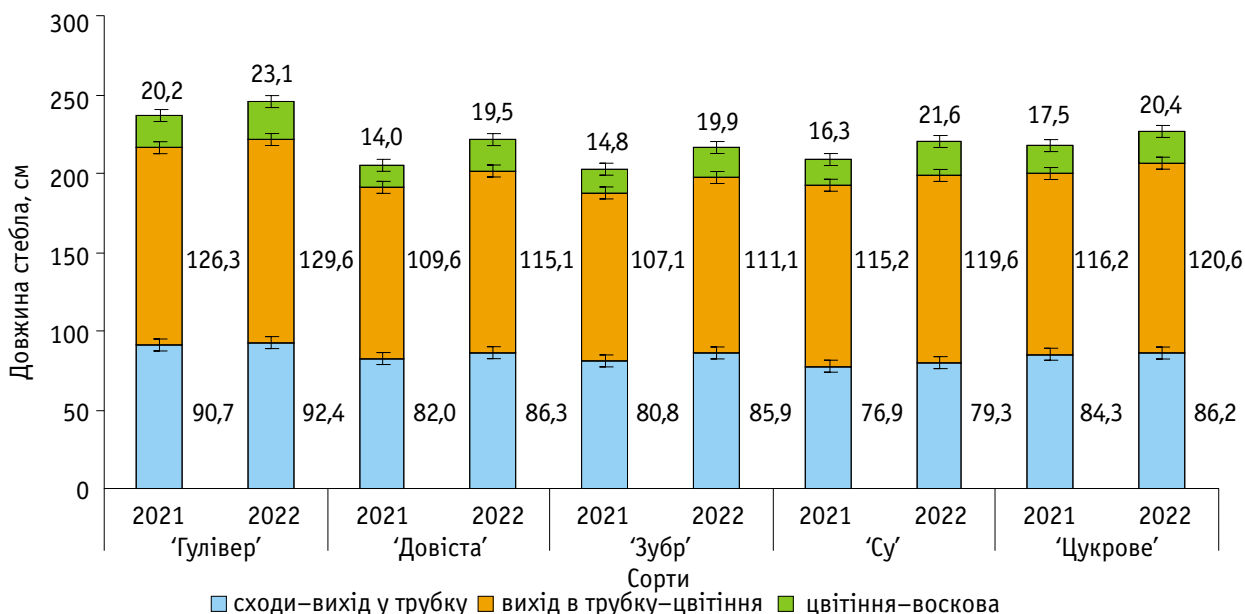


Рис. 2. Динаміка росту й розвитку рослин різних сортів сорго цукрового (2021–2022 рр.)

Також застосовували коефіцієнт енергетичної ефективності (K_{ee}), який відображає відношення сукупної енергії, накопиченої в біомасі, до сукупних витрат енергії на вирощування культури:

$$K_{ee} = \frac{E_{np,cv}}{E_c}$$

де $E_{np,cv}$ – сукупна енергія, накопичена в біомасі енергетичних культур, МДж/га; E_c – сукупні витрати енергії на вирощування енергетичних культур, МДж/га.

Якщо $K_{ee} < 1$, то вирощування біомаси енергетичних культур неефективне; 1–3,0 – низький рівень ефективності; 3,1–

5,0 – середній рівень ефективності; $K_{ee} > 5,0$ – високий рівень енергетичної ефективності.

Результати досліджень

Встановлено, що сходи сортів сорго цукрового сформувалися на 10–12-ту добу після сівби, фазу куціння фіксували через 28–34 доби після формування повних сходів. Дружність появи сходів та інтенсивність лінійного приросту у висоту в рослин, які утворювали від 2 до 4 і більше повністю розвинених генеративних стебел, найбільше залежали від сорту та погодних умов. Висота також пов'язана з густотою стояння

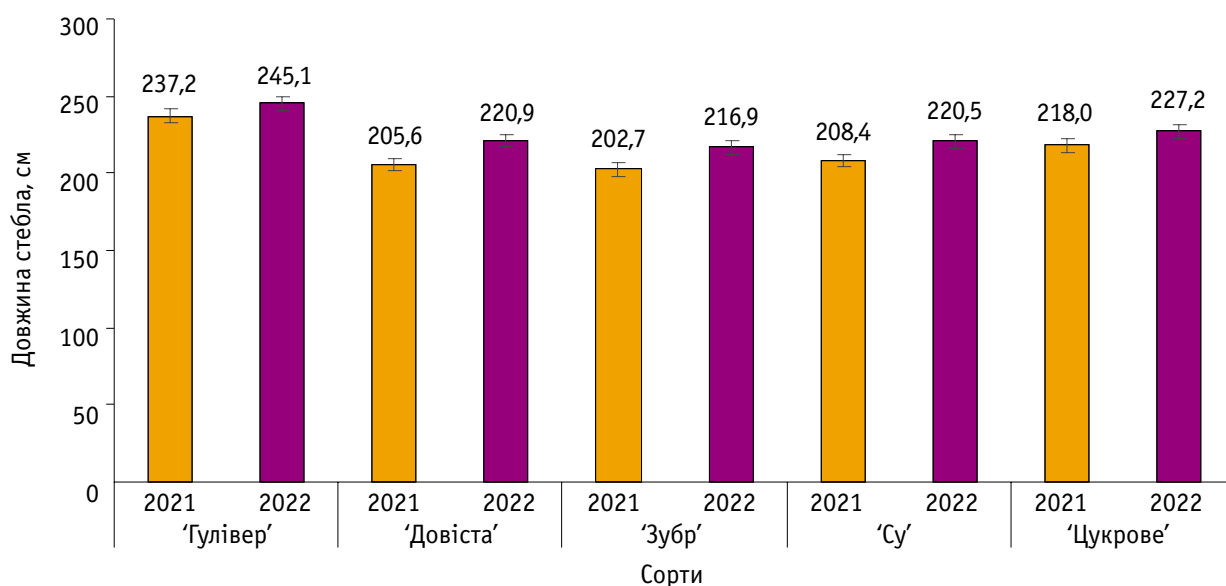


Рис. 3. Висота стебел сортів сорго цукрового на час закінчення вегетації (2021–2022 рр.)

і є одним із показників, що характеризують лінійний приріст, який у динаміці росту та розвитку рослин є найбільшим для міжфазних періодів: виходу в трубку–цвітіння та сходів–виходу в трубку. На рисунку 2 позначено довірчі рівні в межах міжфазних періодів усіх сортів сорго.

Варіювання висоти стебла на початкових етапах росту та розвитку рослин (сходи–вихід у трубку) становило від 76,9 до 92,4 см; у період виходу в трубку–цвітіння – від 107,1 до 129,6 см. На час закінчення вегетації (фаза цвітіння–воскова стиглість) приріст стебла у висоту зменшився до 14,0–23,1 см. Загалом, 2022 р. переважав 2021-й за лінійним приростом стебел. Найвищими його значеннями в обидва роки характеризувався сорт 'Гулівер'; найнижчими – 'Довіста' та 'Су' в умовах 2021 року.

Наприкінці вегетації високорослим був 'Гулівер' (237,2 см у 2021-му та 245,1 см у 2022 р.), найнижчим – 'Зубр' (202,7 і 216,9 см відповідно). Інші сорти мали показники від

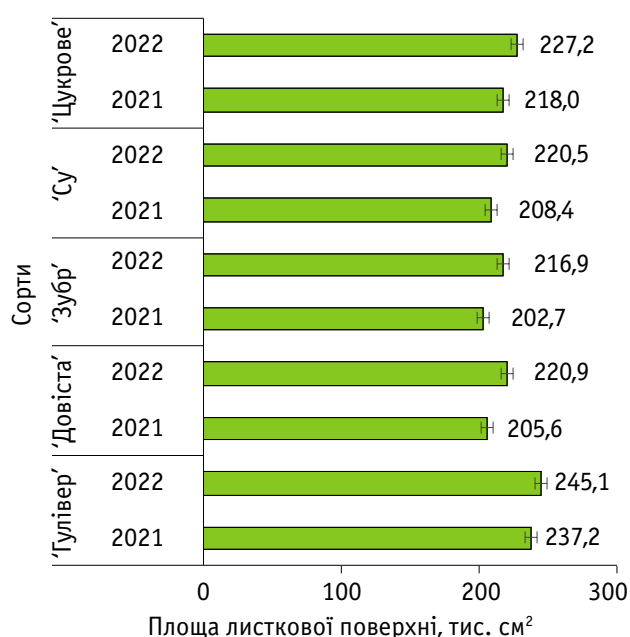


Рис. 4. Площа листкової поверхні різних сортів сорго цукрового (2021–2022 рр.)

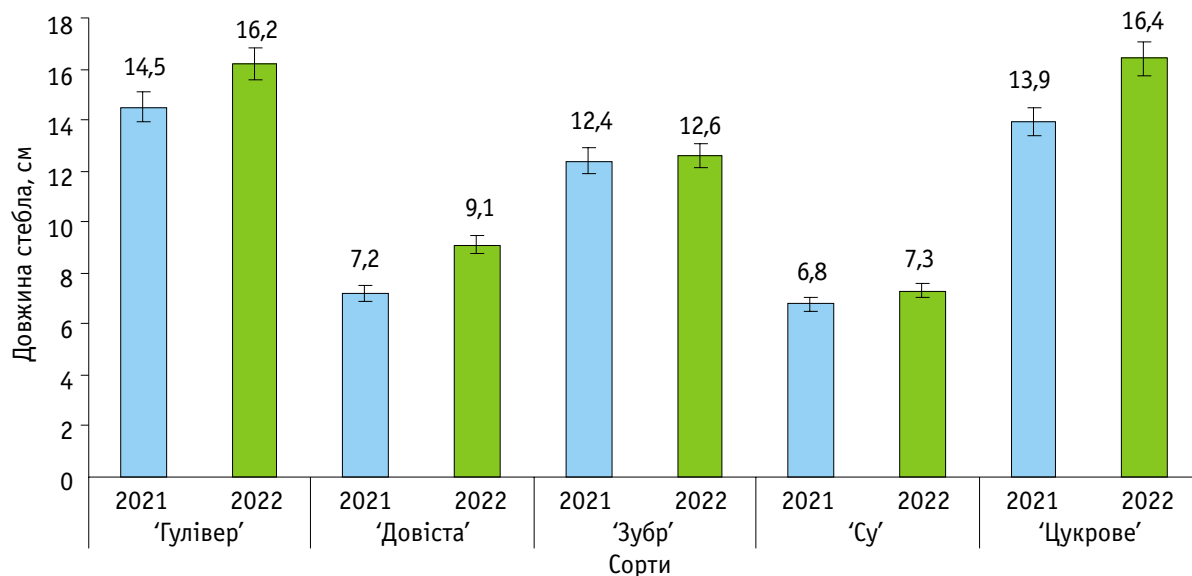
205,6 до 227,2 см (рис. 3).

Площа листової фотосинтетичної поверхні (ПЛФП) рослинного ценозу змінювалася в межах 20,4–23,9 тис. м²/га залежно від сорту й була суттєво більшою 2022 р. (рис. 4).

Найбільшу фотосинтетичну поверхню листового фітоценозу сформували рослини сортів 'Гулівер' (23,7 тис. м²/га) і 'Цукрове' (23,9 тис. м²/га) у 2022 р. Для сорту 'Зубр' цей показник становив 21,7 тис. м²/га, для інших –

був суттєво меншим.

Урожайність сухої біомаси також була мінливою й варіювалася від 6,8 до 14,5 т/га у 2021 р. та від 7,3 до 16,4 т/га у 2022 р. за значення $НІР_{0,05} = 1,04$ (рис. 5). Найбільшими її показниками у 2022 р., порівнюючи з 2021-м, відзначилися сорти 'Гулівер' і 'Цукрове' (середні значення за два роки – 15,4 і 15,2 т/га відповідно). Однакову кількість урожаю в межах $НІР_{0,05}$ сформували 'Довіста' та 'Су' у



$НІР_{0,05}$: фактор А – 1,04 т/га, фактор Б – 1,30 т/га, А × Б – 0,78 т/га
Рис. 5. Урожайність сухої біомаси сорго цукрового (2021–2022 рр.)

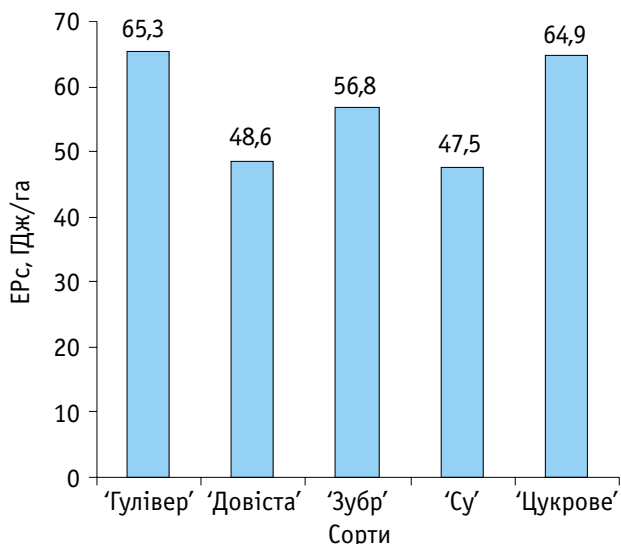


Рис. 6. Енергопродуктивність виробництва біомаси сортів сорго цукрового (середнє за 2021–2022 рр.)

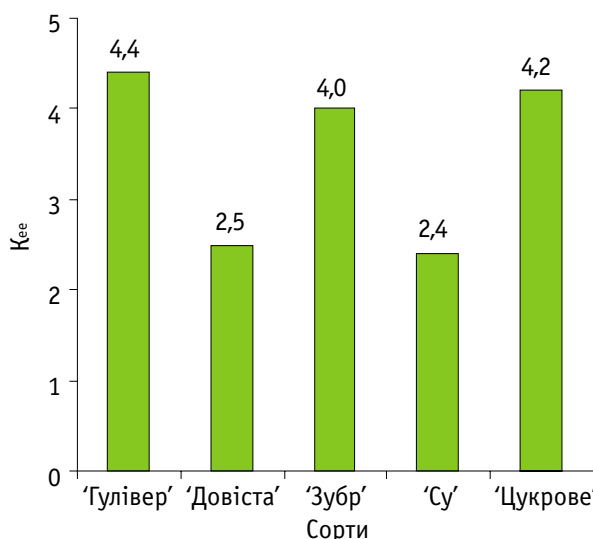


Рис. 7. Коефіцієнт енергоефективності виробництва біомаси сортів сорго цукрового (2021–2022 рр.)

2021 р.

Енергоефективністю вирощування сортів сорго цукрового вважають сукупність взаємопов'язаних показників, одним із яких є енергопродуктивність (Пр), тобто різниця між енерговитратами на одиницю продукції (E_c) (біомаси з енергоемністю

17,0 МДж/кг) та сукупною енергією, накопиченою в біомасі енергетичних культур ($E_{пр}$).

В умовах Лісостепу України найвищу енергопродуктивність у процесі виробництва біомаси забезпечили сорти 'Гулівер', 'Цукрове' та 'Зубр' – 65,3; 64,9 і 58,6 ГДж/га відповідно

(*Kee* – 4,0 або більше – середній рівень). Низькі показники мали ‘Довіста’ і ‘Су’ – 48,6 і 47,5 ГДж/га (низький *Kee* – менше ніж 3).

Отже, ‘Гулівер’ переважає ‘Цукрове’ й ‘Зубр’ на 0,4 і 8,5 ГДж/га за показником енергопродуктивності виробництва біомаси та на 0,2 і 1,2 пункти за коефіцієнтом енергоефективності.

Висновки

За результатами вивчення динаміки формування біометричних показників, урожайності біомаси та енергетичного потенціалу сортів сорго цукрового в умовах Центрального Лісостепу України можна зробити висновок, що прискорений ріст рослин у висоту відбувається в міжфазні періоди: сходів–виходу в трубку та виходу в трубку–цвітіння.

Визначено, що найбільші біометричні показники (за висотою стебел і площею листової поверхні) формують рослини сортів сорго цукрового ‘Гулівер’, ‘Цукрове’ та ‘Зубр’. Вони ж забезпечили найвищу врожайність сухої біомаси за два роки – 15,4; 15,2 та 12,5 т/га відповідно, та найвищу енергопродуктивність виробництва біомаси – 65,3; 64,9 та 56,8 ГДж/га. Коефіцієнт енергоефективності кожного з них становив 4,0 або більше.

Використана література

- Калетник Г. М. Біопаливо: продовольча, енергетична та екологічна безпека України. *Біоенергетика*. 2013. № 2. С. 12–14.
- Гелетуха Г. Г., Железна Т. А. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. *Аналітична записка БАУ № 7*. Київ, 2014. С. 23–25.
- Енергетичні культури: сортимент, біологія, екологія, агротехнологія / за ред. М. І. Кулика. Полтава: Астрія, 2023. 220 с.
- Курило В. Л., Рахметов Д. Б., Кулик М. І. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2018. Вип. 1. С. 11–17. doi: 10.31210/visnyk2018.01.01
- Курило В. Л., Григоренко Н. О., Марчук О. О. Цукрове сорго – перспективна сировина для комплексного використання. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2011. Вип. 12. С. 130–134.
- Курило В. Л., Яланський О. В., Гамандій В. Л. Біоенергетична оцінка соргових культур. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2012. Вип. 14. С. 554–558.
- Сторожик Л. І., Музика О. В. Ефективність вирощування сорго цукрового для переробки на біопаливо. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 108. С. 91–100. doi: 10.32851/2226-0099.2019.108.14
- Грабовський М. Б. Потенціал виробництва біогазу із силосної маси сорго цукрового та кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 106. С. 26–32.
- Григоренко Н., Штангеев В., Купчик Л., Котинська Л. Розроблення комплексної технології переробки рослинної сировини із цукрового сорго. *Продовольчі ресурси*. 2017. Т. 5, № 8. С. 64–68.
- Дремлюк Г. К., Гамандій В. Л., Гамандій І. В. Основні елементи технології вирощування сорго. *Посібник українського хлібороба*. 2013. Т. 1. С. 274–277.
- Вишневська О. В., Маркіна О. В. Випробування різних сортів сорго цукрового в зоні Полісся для потреб біоенергетики. *Вісник аграрної науки*. 2020. Т. 98, № 4. С. 54–61. doi: 10.31073/agroviznyk202004-08
- Ганженко О. М. Енергетична продуктивність сорго цукрового залежно від строків збирання урожаю в центральній частині Лісостепу України. *Агробіологія*. 2021. № 1. С. 23–31. doi: 10.33245/2310-9270-2021-163-1-23-31
- Сторожик Л. І., Музика О. В. Фотосинтетичний потенціал посівів сорго цукрового в умовах Центрального Лісостепу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2017. Вип. 25. С. 79–85. doi: 10.47414/np.25.2017.216870
- Lueschen W. E., Putnam D. H., Kanne B. K., Hoverstad T. R. Agronomic practices for production of ethanol from sweet sorghum. *Journal of Production Agriculture*. 1991. Vol. 4, Iss. 4. P. 619–625. doi: 10.2134/jpra1991.0619
- Ганженко О. М. Методика визначення площі листової поверхні цукрового сорго. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2014. Вип. 22. С. 17–22.
- Інформаційно-довідкова система «Реєстр сортів». URL: <http://service.ukragroexpert.com.ua>
- Любич В. В., Сторожик Л. І., Войтовська В. І. та ін. Агробіологічні параметри різних сортів і гібридів сорго цукрового. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. Т. 17, № 3. С. 193–198. doi: 10.21498/2518-1017.17.3.2021.242966
- Любич В. В., Пясецький П. І., Моргун А. В. Формування показників біоенергетики сортів сорго цукрового за різних строків сівби і збирання. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2022. № 2. С. 85–90. doi: 10.32782/2310-0478-2022-2-85-90
- Войтовська В. І., Сторожик Л. І., Любич В. В., Яланський О. В. Оцінювання продуктивності різних сортів сорго (*Sorghum oryzoidum*). *Plant Varieties Studying and Protection*. 2022. Т. 18, № 1. С. 50–56. doi: 10.21498/2518-1017.18.1.2022.257587
- Ганженко О., Курило В., Герасименко Л. та ін. Методичні рекомендації з технології вирощування і перероблення цукрового сорго як сировини для виробництва біопалива. Київ : Компринт, 2017. 24 с.
- Ганженко О. М. Агроекологічні основи формування продуктивності цукроносних культур для біопалива. Київ : Компринт, 2022. 358 с.
- Черенков А. В., Шевченко М. С., Дзюбецький Б. В. та ін. Соргові культури: технологія, використання, гібриди та сорти. Дніпропетровськ : Роял Принт, 2011. 63 с.
- Попова О. П., Кулик М. І. Біологічні особливості й врожайність біомаси сорго цукрового залежно від сортименту та елементів технології вирощування. *Формування нової парадигми розвитку агропромислового сектору в XXI столітті*. Львів – Торунь : Ліга-Прес, 2021. Ч. 2. С. 461–508. doi: 10.36059/978-966-397-240-4-16
- Правдива Л. А., Бойко І. І., Грабовський М. Б., Марчук О. О. Вплив елементів технології вирощування на продуктивність сорго цукрового та забур’яненість посівів. *Карантин і захист рослин*. 2018. № 8. С. 8–11.
- Кулик М. І., Галицька М. А. Алгоритм обрахунку доступного потенціалу агробіомаси та фітомаси енергетичних культур для виробництва біопалива. Полтава, 2018. 32 с.
- Курило В. Л., Григоренко Н. О., Марчук О. О., Фуніна І. Р. Продуктивність сорго цукрового (*Sorghum saccharum* (L.) Pers.) залежно від сортових особливостей та різної густоти стояння рослин. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2013. № 3. С. 8–12. doi: 10.21498/2518-1017.3(2013).57404
- Каленська С. М., Гринюк І. П. Вплив доз мінеральних добрив та сортових особливостей на вихід цукру та біотанолу із сорго цукрового в умовах Правобережного Лісостепу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2012. Вип. 15. С. 202–206.
- Mahmood A., Ullah H., Ijaz M. et al. Evaluation of sorghum hybrids for biomass and biogas production. *Australian Journal of Crop Science*. 2013. Vol. 7, Iss. 5. P. 1456–1462. doi: 10.3316/informit.61865446729632

29. Іваніна В. В., Сипко А. О., Стрілець О. П. та ін. Вплив доз добрив на біоенергетичну продуктивність сорго цукрового. *Біоенергетика*. 2021. № 2. С. 21–23. doi: 10.47414/be.2.2021.244108
30. Hassan M. U., Chattha M. U., Barbanti L. et al. Combined cultivar harvest time to enhance biomass and methane yield in sorghum under warm dry conditions in Pakistan. *Industrial Crops and Products*. 2019. Vol. 132. P. 84–91 doi: 10.1016/j.indcrop.2019.02.019
- ## References
- Kaletnik, H. M. (2013). Biofuel: food, energy and environmental security of Ukraine. *Bioenergy*, 2, 12–14 [In Ukrainian]
 - Heletukha, H. H., & Zheliezna, T. A. (2014). Prospects for using agricultural waste for energy production in Ukraine. *Analytical note of the Bioenergy Association of Ukraine No. 7* (pp. 23–25). Kyiv: BAU. [In Ukrainian]
 - Kulyk, M. I. (Eds.). (2023). *Enerhetychni kultury: sortyment, biolohiia, ekolohiia, ahrotekhnolohiia* [Energy crops: assortment, biology, ecology, agrotechnology]. Poltava: Astraia. [In Ukrainian]
 - Kurylo, V. L., Rakhmetov, D. B., & Kulyk, M. I. (2018). Biological features and potential of yield of energy crops of the thin-skinned family in the conditions of Ukraine. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 11–17. doi: 10.31210/visnyk2018.01.01 [In Ukrainian]
 - Kurylo, V. L., Hryhorenko, N. O., & Marchuk, O. O. (2011). Sugar sorghum is a promising raw material for complex use. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 12, 130–134. [In Ukrainian]
 - Kurylo, V. L., Yalanskyi, O. V., & Hamandii, V. L. (2012). Bioenergetic evaluation of sorghum crops. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 14, 554–58. [In Ukrainian]
 - Storozhyk, L. I., & Muzyka, O. V. Efficiency of growing sorgho muscle for bio-food processing. *Taurian Scientific Herald*, 108, 91–100. doi: 10.32851/2226-0099.2019.108.14 [In Ukrainian]
 - Grabovskiy, M. B. (2019). Potential for biogas production from sweet sorghum and corn silage. *Taurian Scientific Herald*, 106, 26–32. [In Ukrainian]
 - Grigorenko, N. A., Stangeev, V. A., Kupchuk, L. A., & Kotynska, L. Y. (2017). Development of integrated technology for processing of plant raw materials, derived from sweet sorgho. *Food Resources*, 5, 64–68. [In Ukrainian]
 - Dremluk, H. K., Hamandii, V. L., & Hamandii, I. V. (2013). Basic elements of sorghum cultivation technology. *Ukrainian Farmer's Guide*, 1, 274–277. [In Ukrainian]
 - Vyshnevskaya, O., & Markina, O. (2020). Test of different varieties of sweet sorghum in Polissia for needs of bioenergetics. *Bulletin of Agricultural Science*, 98(4), 54–61. doi: 10.31073/agrovisnyk202004-08 [In Ukrainian]
 - Hanzhenko, O. (2021). Energy productivity of sugar sorghum in the central part of the Forest-Steppe of Ukraine depending on the harvesting time. *Agrobiology*, 1, 23–31. doi: 10.33245/2310-9270-2021-163-1-23-31 [In Ukrainian]
 - Storozhyk, L. I., & Muzyka, O. V. (2017). Photosynthetic potential of sugar sorghum under the conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 25, 79–85. [In Ukrainian]
 - Lueschen, W. E., Putnam D. H., Kanne B. K., & Hoverstad T. R. (1991). Agronomic practices for production of ethanol from sweet sorghum. *Journal of Production Agriculture*, 4(4), 619–625. doi: 10.2134/jpa1991.0619
 - Hanzhenko, O. (2014). Methodology for determining leaf area of sugar sorghum. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 22, 17–22. [In Ukrainian]
 - Information and reference system "Register of varieties" Retrieved from <http://service.ukragroexpert.com.ua> [In Ukrainian]
 - Liubych, V. V., Storozhyk, L. I., Voitovska, V. I., Tereshchenko, I. S., & Losieva, A. I. (2021). Agrobiological parameters of various varieties and hybrids of sweet sorghum. *Plant Varieties Studying and Protection*, 17(3), 193–198. doi: 10.21498/2518-1017.17.3.2021.242966 [In Ukrainian]
 - Liubych, V. V., Piaseskyi, P. I., & Morhun, A. V. (2022). Bioenergetics formation of sugar sorghum varieties during different sowing and harvesting periods. *Bulletin of Uman National University of Horticulture*, 2, 85–90. doi: 10.32782/2310-0478-2022-2-85-90 [In Ukrainian]
 - Voitovska, V. I., Storozhyk, L. I., Liubych, V. V., & Yalanskyi, O. V. (2022). Evaluation of productivity of different varieties of sorghum (*Sorghum oryzoidum*). *Plant Varieties Studying and Protection*, 18(1), 50–56. doi: 10.21498/2518-1017.18.1.2022.257587
 - Hanzhenko, O., Kurylo, V., Herasymenko, L., Zykov, P. Yu., & Khivrych, O. B. (2017). *Metodychni rekomendatsii z tekhnologii vyroshchuvannya i pererobiannya tsukrovoho sorho yak syrovyny dlia vyrobnytstva biopalyva* [Methodical recommendations on the technology of cultivation and processing of sugar sorghum as a raw material for the production of biofuel]. Kyiv: Kompynt. [In Ukrainian]
 - Hanzhenko, O. M. (2022). *Ahroekologichni osnovy formuvannya produktyvnosti tsukronosnykh kultur dlia biopalyva* [Agroecological bases of formation of productivity of sugar-bearing crops for biofuel]. Kyiv: Kompynt. [In Ukrainian]
 - Cherenkov, A. V., Shevchenko, M. S., Dziubetskyi, B. V. & (2011). *Sorhovi kultury: tekhnolohiia, vykorystannia, hibrity ta sorty* [Sorghum crops: technology, use, hybrids and varieties]. Dnipropetrovsk: Roial Prynt. [In Ukrainian]
 - Popova, O. P., & Kulyk, M. I. (2021). Biological features and productivity of sugar sorghum biomass depending on the assortment and elements of growing technology. In *Formuvannya novoi paradyhmy rozvytku ahropromyslovoho sektoru v XXI stolitti* [The formation of a new paradigm for the development of the agro-industrial sector in the XXI century] (Part 2, pp. 461–508). Lviv – Torun: Liha-Pres. doi: 10.36059/978-966-397-240-4-16 [In Ukrainian]
 - Pravdyva, L. A., Boiko, I. I., Hrabovskiy, M. B., & Marchuk, O. O. (2018). Influence of elements of growing technology on the productivity of sugar sorghum and weediness of crops. *Quarantine and Plant Protection*, 8, 8–11. [In Ukrainian]
 - Kulyk, M. I., & Halytska, M. A. (2018). *Alhorytm obrakhunku dostupnogo potentsialu ahrobiomasy ta fitomasy enerhetychnykh kultur dlia vyrobnytstva biopalyva* [Algorithm for calculating the available potential of agrobiomass and phytomass of energy crops for biofuel production]. Poltava: N. p. [In Ukrainian]
 - Kurylo, V. L., Hryhorenko, N. O., Marchuk, O. O., & Funina, I. R. (2013). Sugar sorghum yield (*Sorghum saccharatum* (L.) Pers.) subject to varietal characteristics and varying plant density in crops. *Plant Varieties Studying and Protection*, 3, 8–12. doi: 10.21498/2518-1017.3(20).2013.57404 [In Ukrainian]
 - Kalenska, S. M., & Hryniuk, I. P. (2012). The influence of mineral fertilizer doses and varietal characteristics on the yield of sugar and bioethanol from sugar sorghum in the conditions of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 15, 202–206. [In Ukrainian]
 - Mahmood, A., Ullah, H., Ijaz, M., & Javaid, M. M. (2013). University of Sargodha. al. Evaluation of sorghum hybrids for biomass and biogas production. *Australian Journal of Crop Science*, 7(5), 1456–1462. doi: 10.3316/informit.618654467729632
 - Ivanina, V. V., Sypko, A. O., Strilets, O. P., Zatserkovna, N. S., Sinchuk, G. A., Ivanova, O. G., ... Kopchuk, K. M. (2021). Effect of fertilizer doses on bioenergy productivity of sugar sorghum. *Bioenergy*, 2, 21–23. doi: 10.47414/be.2.2021.244108 [In Ukrainian]
 - Hassan, M. U., Chattha, M. U., Barbanti, L., Chattha, M. B., Mahmood, A., Khan, I., & Nawaz, M. (2019). Combined cultivar harvest time to enhance biomass and methane yield in sorghum under warm dry conditions in Pakistan. *Industrial Crops and Products*, 132, 84–91 doi: 10.1016/j.indcrop.2019.02.019

UDC 633.17: 631.527.5: 631.5:632.631.11

Popova, O. P., & Kulyk, M. I. (2023). Yield formation and energy potential of *Sorghum saccharatum* (L.) Moench biomass under the conditions of the central Ukrainian Forest-Steppe. *Plant Varieties Studying and Protection*, 19(3), 168–175. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.19.3.2023.287640>

*Poltava State Agrarian University, 1/3 Skovorody St., Poltava, 36003, Ukraine, *e-mail: oks27071994@gmail.com; kulykmaksym@ukr.net*

Purpose. Study of the dynamics of formation of biometric indicators, biomass yield and energy potential of sorghum varieties in the conditions of the Central Forest-Steppe of Ukraine. **Methods.** Field, laboratory and statistical methods were used. Five registered varieties of sorghum, viz: 'Huliver', 'Dovista', 'Zubr', 'Su' and 'Tsukrove' served as the object of research. The measurement of biometric indicators of plants, the calculation of biomass yield and energy potential were carried out in accordance with approved scientific and methodological recommendations. **Results.** The most rapid growth in height of sorghum was observed during the interphases of "seedling – leaf-tube formation and leaf-tube formation – flowering". At the end of the growing season, plants of the varieties 'Huliver' (237.2–245.1 cm), 'Tsukrove' (218.0–227.2 cm) and 'Dovista' (205.6–220.9 cm) were the tallest. 'Hulliver',

'Tsukrove' and 'Zubr' were characterized by the largest photosynthetic leaf area, they produced the largest biomass and were characterized by the highest energy efficiency of cultivation in terms of energy productivity (*EPc* equal to or greater than 60.0 GJ/ha) and energy efficiency coefficient (*Kee* equal to or greater than 4.0). **Conclusions.** The highest biomass yield by dry residue was found in the sorghum varieties 'Huliver' (15.4 t/ha), 'Tsukrove' (15.2 t/ha) and 'Zubr' (12.5 t/ha). The same varieties were characterized by high energy productivity (the difference between the energy stored in biomass and the energy used to produce it) – 65.3, 64.9 and 56.8 GJ/ha respectively, with a *Kee* value of 4.0 or more, which characterizes the average level of biomass production efficiency.

Keywords: *sugar sorghum; varieties; biometric indicators of plants; yield; energy efficiency; biomass.*

Надійшла / Received 25.08.2023

Погоджено до друку / Accepted 22.09.2023

Продуктивність сорго звичайного двокольорового [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] та соризу (*S. orysoïdum*) залежно від методів контролювання чисельності бур'янів

Л. А. Правдива^{1*}, О. М. Ганженко¹, Г. С. Гончарук²

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03141, Україна, *e-mail: bioplant_@ukr.net

²Ялтушківська дослідно-селекційна станція Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Селекційна, 4, с. Черешневе, Барський р-н, Вінницька обл., 23074, Україна

Мета. Встановити ефективність методів контролювання чисельності бур'янів стосовно продуктивності сорго звичайного двокольорового та соризу в умовах нестійкого зволоження західної частини Лісостепу України. **Методи.** Під час проведення дослідів використовували польовий, лабораторний і математично-статистичний методи. Так, польовий полягає у вивченні біологічних та екологічних особливостей росту, продуктивності та якості культури, включає спостереження, дотримання обліків умов і результатів. Метою лабораторного методу є виявлення взаємозв'язку між рослиною та середовищем (ґрунтом) способом їх аналізу. Математично-статистичний метод використовують для опрацювання експериментальних даних, щоб підвищити обґрунтованість результатів. **Результати.** За роки проведення досліджень проаналізовано видовий і кількісний склад бур'янів у посівах сорго звичайного двокольорового та соризу. Найвищу ефективність знищення бур'янів відмічено у варіанті з ручним прополюванням – 95,0–97,0%, за хімічного обробітку – 82,0–83,0%, за механічного – 78,6–88,5%. У контрольному варіанті (без догляду) забур'яненість, навпаки, збільшилась на 10,3–13,9%. Найнижчу врожайність зерна та біомаси у сортів 'Дніпровський 39' (2,35 і 22,23 т/га) та 'Самаран 6' (2,50 і 22,7 т/га) отримано на забур'яненому варіанті (контроль). Дещо вищу – за механічного обробітку. Застосування хімічного способу контролювання сприяло збільшенню кількості врожаю до 3,40 т/га зерна і 29,07 т/га біомаси у сорго та 2,80 т/га зерна і 27,73 т/га біомаси в соризу; ручне прополювання – до 3,90 т/га зерна і 32,13 т/га біомаси у сорго та 3,50 т/га зерна і 30,63 т/га біомаси в соризу. **Висновки.** Найбільший розрахунковий вихід біоетанолу та твердого біопалива з одиниці площі отримано завдяки ручному прополюванню у процесі вирощування сорго звичайного двокольорового (1,29 та 9,16 т/га) й соризу (1,16 та 9,09 т/га). Загальний вихід енергії становив 181,62 та 177,02 ГДж/га відповідно. В інших варіантах досліді вказані показники були нижчими. Кореляційно-регресійний аналіз даних показав сильну кореляцію між урожайністю зерна та виходом біоетанолу, врожайністю та виходом твердого біопалива, врожайністю зерна та виходом енергії з біоетанолу, врожайністю біомаси та виходом енергії з твердого біопалива. Коефіцієнт кореляції мав значення від 0,87 до 0,99, а коефіцієнт детермінації – від 0,78 до 0,99.

Ключові слова: сорго звичайне двокольорове; сориз; бур'яни; гербіцид; урожайність; біоетанол; тверде біопаливо.

Вступ

Сорго звичайне двокольорове [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] та сориз (*S. orysoïdum*) – злакові культури, що характеризуються високою врожайністю, посухостійкістю та невибагливістю до умов вирощування. Їх використовують у продовольчій, кормовій і технічній галузях [1–3]. За площами вирощування у світі сорго посідає п'яте місце серед зернових (після пшениці, рису, кукурудзи і ячменю) та третє серед зернофуражних культур [4]. Натепер його розглядають і як важливу рослину для виробництва біопалива (біоетанолу та твердого біопалива) [5, 6].

Однією з найбільших проблем землеробства є забур'яненість посівів сільськогосподарських культур, що призводить до зниження їхньої врожайності та погіршення якості продукції. Бур'яни є джерелом поширення шкідників і збудників хвороб. Вони перешкоджають впровадженню інтенсивних технологій, через що збільшується собівартість продукції [7, 8], а також конкурують із сільськогосподарськими культурами за світло, воду й елементи живлення, затримуючи ріст і розвиток рослин і знижуючи їхню врожайність більш як на 30–50% [9, 10].

Встановлено, що рівень забур'яненості посівів залежить від елементів технології вирощування [11, 12].

Особливістю сорго є повільний ріст і розвиток на ранніх етапах онтогенезу, що проявляється у високій енергоємності освітленості поверхні ґрунтів посівів (0,45–0,50 ккал на 1 см²) і, як наслідок, у 10 разів більшому пригні-

Liudmyla Pravdyva

<https://orcid.org/0000-0002-5510-3934>

Oleksandr Hanzhenko

<https://orcid.org/0000-0002-8118-1645>

ченні бур'янами, порівнюючи з пшеницею озимою, і в 3 рази, порівнюючи із соняшником. Залежно від тривалості конкуренції змінюються також кількість і маса бур'янів, чиста продуктивність фотосинтезу, динаміка наростання маси, врожайність сорго тощо [13].

За даними авторів, несприятливі фактори довкілля у різних кліматичних умовах досить часто впливають на процес вирощування кукурудзи та сорго. Важливим за таких обставин є контроль забур'яненості посівів, спрямований на покращення поживного і водного режимів ґрунту, оптимізацію росту та розвитку рослин і підвищення продуктивності [14–17].

Застосування хімічного захисту у посівах сорго зернового дало змогу зменшити забур'яненість на 71,4%. Механічний спосіб контролювання чисельності бур'янів забезпечив її зниження на 79,6–80,8% [18].

Мета досліджень – встановити, з якою ефективністю методи контролювання чисельності бур'янів впливають на розвиток і продуктивність сорго звичайного двоколірвого та соризу в умовах нестійкого зволоження західної частини Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Досліди закладали впродовж 2018–2020 рр. в умовах нестійкого зволоження Ялтушківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. Географічне

розташування станції – 48°59' північної широти та 27°27' західної довготи. Ґрунти – сірі опідзолені слабкозмиті, які містили 63 мг азоту на 1 кг ґрунту, 109 – фосфору та 119 – калію. Кислотність – 2,9 мк-екв/100 г ґрунту. Щільність – 1,25 г/см³. У метровому шарі ґрунту – 110 мл продуктивної вологи.

Схема дослідів складалася з таких варіантів: сорти (фактор А) 'Дніпровський 39' і 'Самаран 6' та методи контролювання чисельності бур'янів, а саме: без догляду (контроль), механічний спосіб, хімічний спосіб (гербіцид) та ручне прополювання. Повторність чотириразова, площа посівної ділянки – 50 м², облікової – 25 м². Механічний спосіб контролю передбачав досходове боронування та міжрядні обробітки, хімічний – обприскування гербіцидом Гвардіан Тетра (3,5 л/га) до появи сходів сорго. Препарат вносили вручну в суху погоду, коли температура повітря становила від 16 до 24 °С. Норма витрати робочої рідини – 300 л/га.

Температурні показники вегетаційного періоду 2018 року в середньому на 3,3 °С перевищували усереднені багаторічні (рис. 1). Найспекотнішими були травень (17,3 °С) та літні місяці (19,3; 20,1 та 21,2 °С). Схожу тенденцію спостерігали й у 2019 р.: 9,2 °С у квітні, 15,3 °С у травні, 22,1 °С у червні, 19,0 °С у липні, 20,0 та 14,7 °С у серпні та вересні, що на 1,9; 1,8; 5,7; 0,5; 2,3 та 1,3 °С відповідно більше за багаторічні значення. 2020 року температура повітря не перевищувала серед-

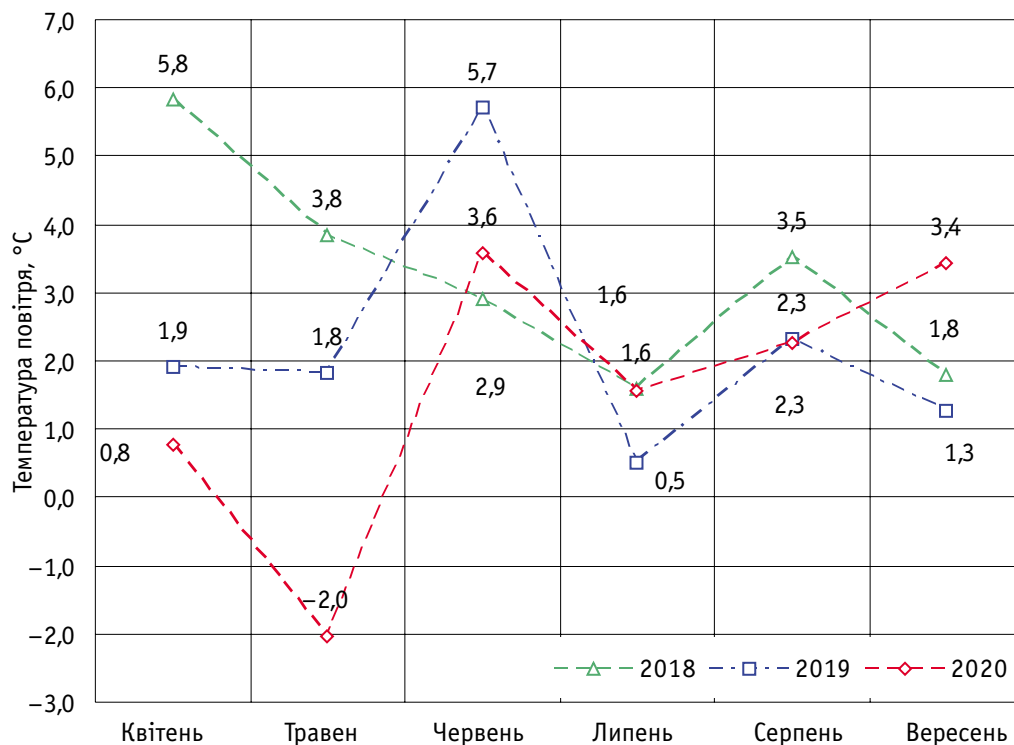


Рис. 1. Відхилення показників температури повітря від середніх багаторічних даних (2018–2020 рр.)

ні показники лише у травні, коли була нижчою від них на 2 °С.

Кількість опадів (дощів) у 2018 р. становила 267,4 мм, що на 102,6 мм менше за середнє багаторічне значення. Квітень цього року характеризувався повною відсутністю (0 мм) атмосферної вологи (середнє значення квітня – 42 мм), низькими її показниками відзначився і травень – 14,5 мм, що на 47,5 мм менше за багаторічні дані. Найбільше опадів спостерігали у червні (на 21,2 мм більше за середнє значення) та липні (на 7,9 мм менше ніж усереднений показник). У серпні та вересні кількість атмосферної вологи була нижчою за багаторічні значення на 14,8 і 11,6 мм (рис. 2).

Сума опадів у вегетаційний період 2019 року становила 429,0 мм і на 59 мм пере-

вищувала середню багаторічну. Найменше атмосферної вологи випало у серпні та вересні (22,0 та 27,0 мм), найбільше – у травні (214 мм).

Кількість опадів у квітні (65 мм) на 23 мм переважала багаторічні дані та поступалася їм на 10,0 і 51,0 мм у червні (64,0 мм) та липні (37,0 мм).

Значно менше опадів спостерігали у 2020 р. – 261,8 мм (на 108,2 мм нижче за усереднене значення). Дані за квітень (13,3 мм), липень (16,8 мм) і серпень (21,0 мм) найбільше поступалися багаторічним – на 28,7; 71,2 та 34,0 мм, а в травні (75 мм) та червні (84,5 мм), навпаки, переважали їх з різницею в показниках 13,0 та 10,5 мм відповідно.

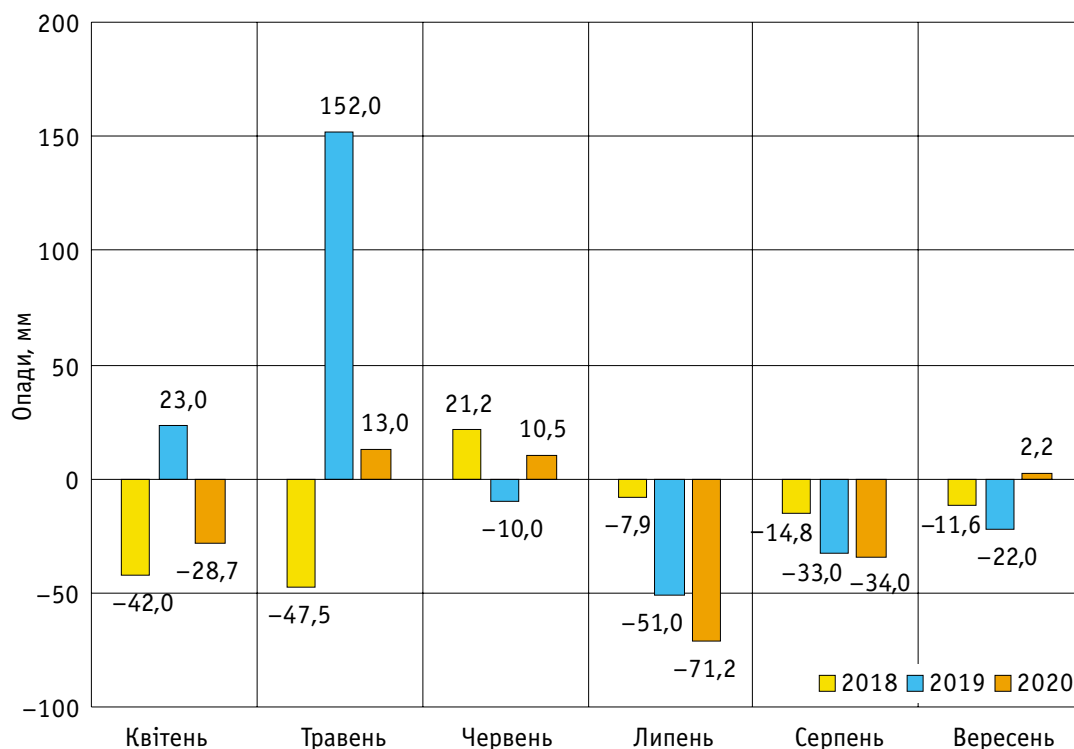


Рис. 2. Відхилення показників кількості опадів від середніх багаторічних даних (2018–2020 рр.)

У процесі досліджень визначали вплив гербіциду та методів контролювання чисельності бур'янів на посіви сорго. Ефективність гербіциду встановлювали відповідно до «Методики випробування і застосування пестицидів» [19].

Дніпровський 39'. Оригіна́тор – Синельниківська СДС ДУ ІЗК, Інститут зернових культур НААН. До Реєстру сортів рослин України внесено 2000 року. Ранньостиглий, дозріває за 100–105 дб після сходів. Зерновий напрям використання. Потенційна врожайність – 6–7 т/га.

Самаран 6'. Оригіна́тор – ДУ Інститут зернових культур НААН України. До Реєстру

сортів рослин України внесено 2006 року. Середньостиглий, дозріває за 105–120 дб. Потенційна врожайність – 4–5 т/га.

Для розрахунку виходу біоетанолу, твердого біопалива й енергії використовували методику, розроблену в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. Вихід біоетанолу обчислювали, враховуючи врожайність зерна, вміст у ньому сухої речовини і крохмалю; вихід твердого біопалива – враховуючи врожайність біомаси, її сухої речовини та вологість твердого біопалива (10%) [20]. Вміст крохмалю в зерні визначали поляриметричним методом за Еверсом. Для

аналізу отриманих даних використовували програму Statistica 6 [21].

Результати досліджень

У таблиці 1 наведено інформацію щодо видів бур'янів, які переважали в посівах сорго звичайного двокольорового та соризу.

На рисунку 3 подано дані про кількість бур'янів на початку вегетаційного періоду та після застосування методів контролю їх чисельності. Так, найбільше бур'янів знищено у варіанті з ручним прополюванням – 95,0–97,0%, або 113–119 шт./м²; за хімічного обробітку – 82,0–83,0%, чи 96–98 шт./м²; механічного – 78,6–88,5%, або 106–108 шт./м². У контрольному варіанті забур'яненість, навпаки, збільшилась на 10,3–13,9%, тобто 12–16 шт./м².

Встановлено, що кількість бур'янів у посівах і методи контролювання їх чисельності впливають не лише на розвиток рослин, а й на одержуваний урожай. Так, у сорту 'Дніпровський 39' найнижчу врожайність зерна та біомаси (2,35 і 22,23 т/га) відмічено на забур'яненому варіанті (табл. 2); дещо вищу [на 0,55 (зерно) та 5,37 т/га (біомаса)] – за механічного обробітку. Застосування хімічного способу та ручне прополювання сприяли збільшенню кількості врожаю відповідно до 3,40 та 3,90 т/га зерна та 29,07 і 32,13 т/га біомаси.

Сориз 'Самаран 6' продемонстрував найнижчу врожайність зерна та біомаси у контрольному варіанті – 2,50 та 22,70 т/га; за механічного обробітку її значення становили 2,80 та 25,70 т/га; хімічного – 3,50 та 30,63 т/га.

Таблиця 1

Наявність бур'янів у посівах сорго звичайного двокольорового та соризу (2018–2020 рр.)

Види бур'янів, назви		У посівах	
		сорго звичайного двокольорового, шт./м ²	соризу, шт./м ²
Злакові однорічні	плоскуха звичайна (<i>Echinochloa crus-galli</i> L.)	26,4	24,1
	мишій сизий (<i>Setaria glauca</i> L.)	20,1	22,3
Дводольні малорічні	лобода біла (<i>Chenopodium album</i> L.)	8,4	10,1
	щириця звичайна (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.)	10,3	9,2
	грицики звичайні (<i>Capsella bursa-pastoris</i> L.)	4,5	4,8
	курячі очка польові (<i>Anagallis arvensis</i> L.)	1,8	2,0
	талабан польовий (<i>Thlaspi arvense</i> L.)	2,0	1,5
Багаторічні злакові	пирій повзучий (<i>Elymus repens</i> L.)	1,0	1,5
Коренепаросткові	осот жовтий (<i>Sonchus arvensis</i> L.)	1,0	2,0
	берізка польова (<i>Convolvulus arvensis</i> L.)	2,5	1,2

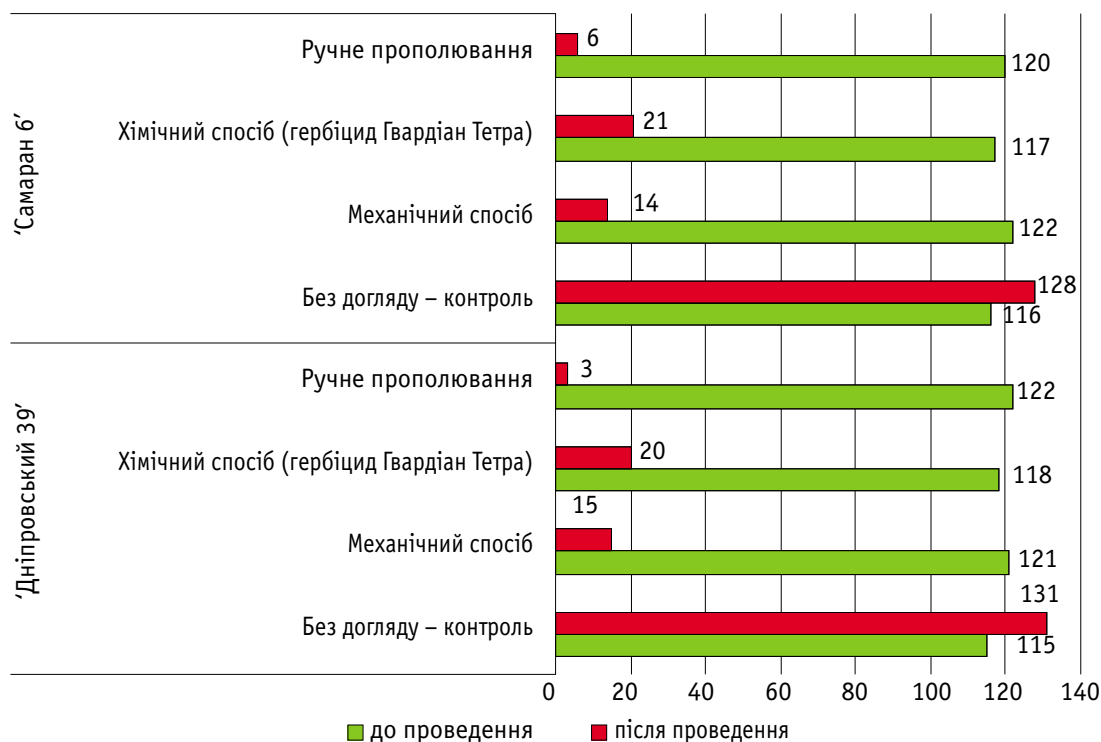


Рис. 3. Кількість бур'янів у посівах сорго й соризу залежно від сорту та методів контролювання їх чисельності, шт./м² (2018–2020 рр.)

Найвищі показники одержано у варіанті з ручним прополюванням, коли рослини сорго

мали більший доступ до поживних елементів і вологи з ґрунту.

Таблиця 2

Урожайність, вміст сухої речовини та крохмалю в зерні сорго звичайного двокольорового та соризу залежно від методів контролювання чисельності бур'янів (2018–2020 рр.)

Сорт	Методи контролювання бур'янів	Урожайність, т/га		Вміст крохмалю, %	Вміст сухої речовини, %	
		зерна	біомаси		у зерні	у біомасі
'Дніпровський 39'	Без догляду – контроль	2,35	22,23	76,0	84,3	23,8
	Механічний спосіб	2,90	27,60	78,0	85,4	24,4
	Хімічний спосіб	3,40	29,07	76,1	85,9	25,9
	Ручне прополювання	3,90	32,13	77,0	86,3	26,7
'Самаран 6'	Без догляду – контроль	2,50	22,70	77,0	84,0	23,9
	Механічний спосіб	2,70	25,70	77,0	85,9	25,7
	Хімічний спосіб	2,80	27,73	78,0	86,0	25,8
	Ручне прополювання	3,50	30,63	77,0	86,1	27,0
НІР _{0,05}		1,22	3,85	0,13	0,20	0,16

Уміст сухої речовини в зерні досліджуваних сортів без догляду посівів (контроль) становив 84,0–84,3%, за механічного обробітку – 84,5–85,9%, хімічного – 85,9–86,0%. У варіанті з ручним прополюванням – 86,1–86,3%. Кількість сухої речовини в біомасі (листі та стебла) й уміст крохмалю в зерні (76,0–79,0%) теж залежали від методів контролювання чисельності бур'янів. Відмінність між показниками спричинена також сортовими

особливостями, елементами технології та ґрунтово-кліматичними умовами вирощування.

Максимальний вихід біоетанолу та твердо-го біопалива з одного гектара посівів отримано завдяки ручному прополюванню у процесі вирощування сорго звичайного двокольорового (1,29 та 9,16 т/га) та соризу (1,16 та 9,09 т/га). Загальний вихід енергії становив 181,62 та 177,02 ГДж/га відповідно (табл. 3).

Таблиця 3

Розрахунковий вихід біопалива та енергії залежно від методів контролювання чисельності бур'янів (2018–2020 рр.)

Сорти	Методи контролювання бур'янів	Вихід біоетанолу, т/га	Вихід твердого біопалива, т/га	Вихід енергії з біоетанолу, ГДж/га	Вихід енергії з твердого біопалива, ГДж/га	Загальний вихід енергії, Дж/га
'Дніпровський 39'	Без догляду – контроль	0,78	5,81	19,39	94,73	114,12
	Механічний спосіб	0,97	7,41	23,73	120,75	144,48
	Хімічний спосіб	1,12	8,28	27,99	135,00	162,99
	Ручне прополювання	1,29	9,16	32,25	149,36	181,62
'Самаран 6'	Без догляду – контроль	0,84	5,97	20,93	97,28	118,21
	Механічний спосіб	0,95	7,27	23,87	118,43	142,30
	Хімічний спосіб	0,98	7,86	23,87	128,14	152,01
	Ручне прополювання	1,16	9,09	28,88	148,14	177,02

В інших варіантах досліді вищевказані показники були меншими. Зокрема, застосування гербіциду зменшило вихід біоетанолу та твердого біопалива на 13,2 та 9,6% для сорго та 15,5 та 13,5% для соризу. Загальний вихід енергії знизився на 10,2 та 14,1%. За механічного обробітку ґрунту спостерігали зменшення виходу біопалива на 24,8 та 19,1% у сорго та 18,1–20% в соризу, загального виходу енергії – на 20,4 та 19,6% відповідно. Це пояснюється тим, що на дослідних ділянках навіть після контролювання чисельності залишалася певна кількість бур'янів, а тому знижувались урожайність зерна і біомаси. Мінімальними показниками виходу біопалива та енергії характеризувався забур'янений варіант (контроль).

Кореляційно-регресійний аналіз отриманих результатів показав сильну поліномальну кореляцію між урожайністю зерна та виходом біоетанолу, виражену рівнянням $y = -0,0286x^2 + 0,4155x - 0,1579$ ('Дніпровський 39') та $y = 0,0114x^2 - 0,0076x + 0,8237$ ('Самаран 6') (рис. 4). Коефіцієнт кореляції та детермінації становив $R^2 = 0,97$ та $R = 0,98$ ('Дніпровський 39') та $R^2 = 0,78$ та $R = 0,88$ ('Самаран 6').

Відміченой сильний зв'язок між урожайністю біомаси та виходом твердого біопалива (рис. 5). Коефіцієнт детермінації та кореляції – $R^2 = 0,99$ і $R = 0,93$ ('Дніпровський 39') та $R^2 = 0,99$ і $R = 0,99$ ('Самаран 6').

Існує також висока кореляція між урожайністю зерна та виходом енергії з біоетанолу (коефіцієнт детермінації та кореляції –

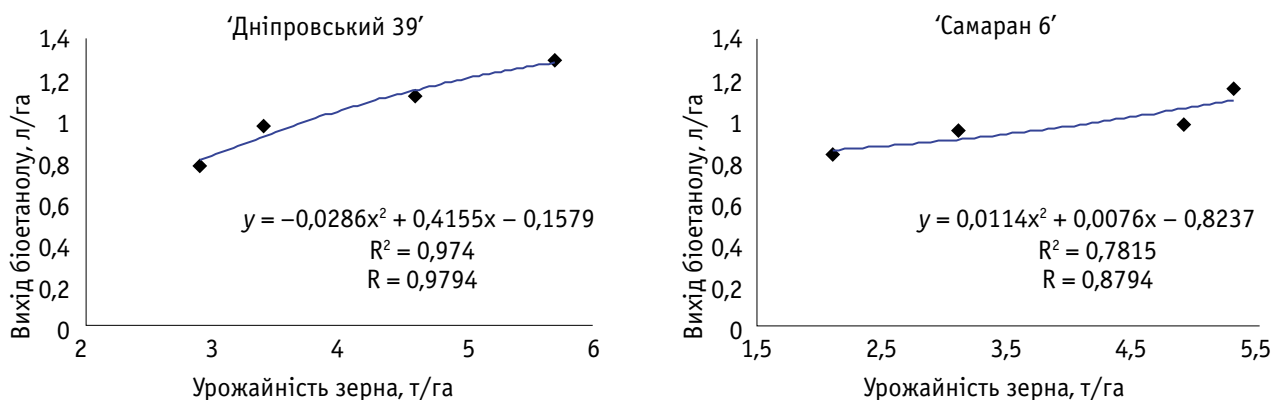


Рис. 4. Кореляційно-регресійний зв'язок між урожайністю зерна та виходом біоетанолу (2018–2020 рр.)

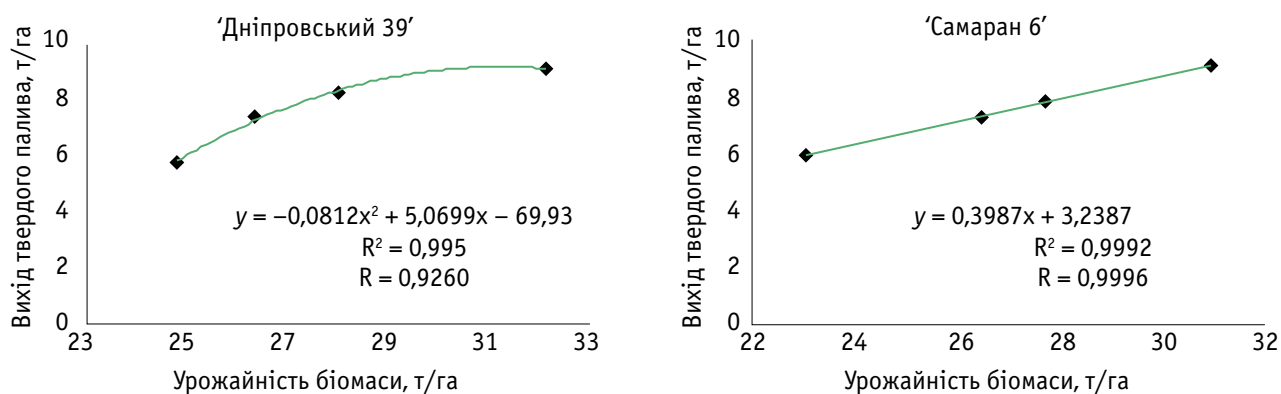


Рис. 5. Кореляційно-регресійний зв'язок між урожайністю біомаси та виходом твердого палива (2018–2020 рр.)

$R^2 = 0,79$ та $R = 0,87$), а також між урожайністю біомаси та виходом енергії з твердого біопалива (коефіцієнт детермінації та кореляції – $R^2 = 0,93$ та $R = 0,96$) (рис. 6).

Створення багатопрофільних схем перероблення сорго звичайного двокольорового та соризи є важливим завданням, оскільки через збільшення чисельності населення неможливо виділити площі лише під вирощування рослин біоенергетичного напрямку використання. Тому науковці вказують на необхідність пошуку універсальних культур, придатних для перероблення як на харчові, так і біоенергетичні цілі. Вони повинні бути не лише

стійкими проти хвороб, а й ефективно переносити глобальне потепління та протистояти посухам, здатним знищити врожай [22]. До таких культур належать і соргові, особливості формування продуктивності посівів яких залежно від забур'яненості та методів захисту, було розглянуто у процесі досліджень. Багато вчених вважають важливим використання культур з високою біомасою, які можуть забезпечувати не лише зерновими продуктами та кормами, а й сировиною для виробництва біопалива. Зокрема, перспективним напрямом є одержання крохмалю, цукру та лігноцелюлозних речовин [23, 24].

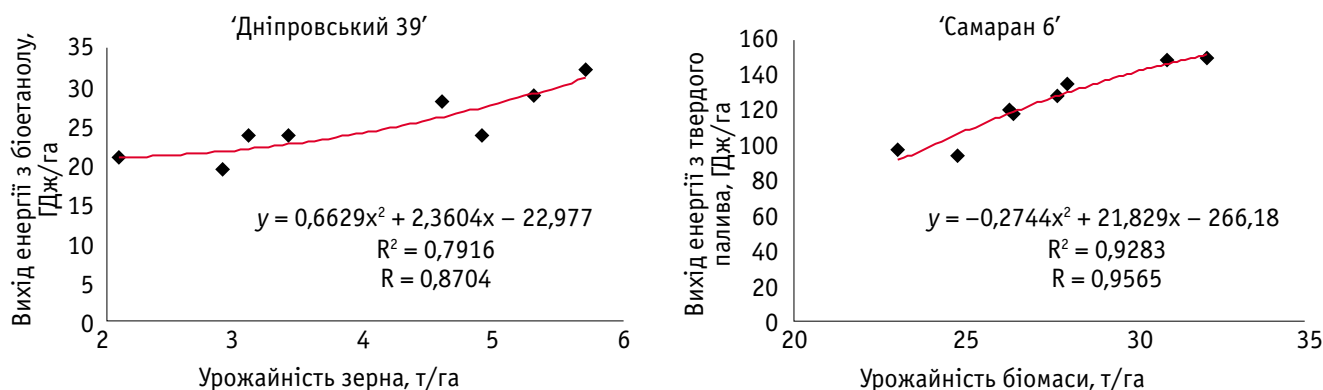


Рис. 6. Кореляційно-регресійний зв'язок між урожайністю зерна та виходом енергії з біоетанолу й між урожайністю біомаси та виходом енергії з твердого палива (2018–2020 рр.)

Отже, вивчення закономірностей формування врожаю біомаси та зерна соргових культур в умовах зони нестійкого зволоження західної частини Лісостепу України дає змогу рекомендувати до виробництва кращі схеми контролювання чисельності бур'янів. Адаптація забезпечення необхідних параметрів росту (підвищення врожайності зерна та/або врожайності вегетативної маси) є актуальним за правильного планування посівів із чітко відомою стратегією подальшого переоблення.

Висновки

Досліджено видовий і кількісний склад бур'янів у посівах сорго звичайного двокольорового та соризу. Найвищу ефективність знищення бур'янів відмічено у варіанті з ручним прополюванням – 95,0–97,0%, за хімічного обробітку – 82,0–83,0%, за механічного – 78,6–88,5%. У контрольному варіанті (без догляду) забур'яненість, навпаки, збільшилась на 10,3–13,9%.

Найнижчу врожайність зерна та біомаси у сортів 'Дніпровський 39' (2,35 та 22,23 т/га) та 'Самаран 6' (2,50 та 22,7 т/га) отримано на забур'яненому варіанті (контроль). Дещо вищу – за механічного обробітку. Застосування хімічного способу контролювання сприяло збільшенню кількості врожаю до 3,40 т/га зерна і 29,07 т/га біомаси у сорго та 2,80 т/га зерна і 27,73 т/га біомаси в соризу; ручне прополювання – до 3,90 т/га зерна і 32,13 т/га біомаси у сорго та 3,50 т/га зерна і 30,63 т/га біомаси в соризу.

Найбільший розрахунковий вихід біоетанолу та твердого біопалива з одиниці площі отримано завдяки ручному прополюванню у процесі вирощування сорго звичайного двокольорового (1,29 та 9,16 т/га) й соризу (1,16 та 9,09 т/га). Загальний вихід енергії становив 181,62 та 177,02 ГДж/га. В інших варіантах досліджу вказані показники були нижчими.

Кореляційно-регресійний аналіз даних показав сильну кореляцію між урожайністю зерна та виходом біоетанолу, врожайністю та виходом твердого біопалива, врожайністю зерна та виходом енергії з біоетанолу, врожайністю біомаси та виходом енергії з твердого біопалива. Коефіцієнт кореляції мав значення від 0,87 до 0,99, а коефіцієнт детермінації – від 0,78 до 0,99.

Використана література

1. Popescu A., Dinu T. A., Stoian E. Sorghum – an important cereal in the world, in the European Union and Romania. *Scientific papers. Series Management Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2018. Vol. 18, Iss. 4. P. 271–284.

2. Somegowda V. K., Vemula A., Naravula J. et al. Evaluation of fodder yield and fodder quality in sorghum and its interaction with grain yield under different water availability regimes. *Current Plant Biology*. 2021. Vol. 25. Article 100191. doi: 10.1016/j.cpb.2020.100191

3. Begna T. Effect of striga species on sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) production and its integrated management approaches. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 7, Iss. 7. P. 10–22. doi: 10.20431/2454-6224.0707002

4. Sarshad A., Talei D., Torabi M. et al. Morphological and biochemical responses of *Sorghum bicolor* (L.) Moench under drought stress. *SN Applied Sciences*. 2021. Vol. 3, Iss. 1. Article 81. doi: 10.1007/s42452-020-03977-4

5. Pravdyva L. A., Doronin V. A., Dryha V. V. et al. Yield capacity and energy value of sorghum grain depending on the application of mineral fertilisers. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2022. Vol. 109, Iss. 2. P. 115–122. doi: 10.13080/z-a.2022.109.015

6. Bollam S., Romana K. K., Rayaprolu L. et al. Nitrogen use efficiency in Sorghum: exploring native variability for traits under variable N-Regimes. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. Article 643192. doi: 10.3389/fpls.2021.643192

7. Зуза В. С., Гутянський Р. А. Новий підхід до типів забур'яненості посівів. *Карантин і захист рослин*. 2018. № 3. С. 4–6.

8. Курдюкова О. М., Тищук О. П. Забур'яненість ґрунту насінням бур'янів та заходи її зменшення. *Захист і карантин рослин*. 2019. Вип. 65. С. 100–110.

9. Гутянський Р. А., Попов С. І., Костромітін В. М. та ін. Вплив основного обробітку ґрунту та удобрення на забур'яненість посівів соняшнику. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2021. № 1. С. 60–68. doi: 10.31521/2313-092X/2021-1(109)-8

10. Ткаченко М. А., Задубинна Є. В., Цюк О. А., Кондратюк І. М. Моніторинг забур'яненості посівів сої у короткочасній сівоозміні. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 7. С. 29–35. doi: 10.31073/agroviznyk202207-05

11. Грицюк Н. В., Плотницька Н. М., Тимошук Т. М. та ін. Вплив обробітків ґрунту на забур'яненість посівів пшениці озимої в умовах Полісся України. *Scientific Horizons*. 2020. № 5. С. 15–21. doi: 10.33249/2663-2144-2020-90-5-15-21

12. Кирилюк В. П., Тимошук Т. М., Шульга С. Ю. Формування бур'янового компоненту агрофітоценозу гірчиці білої залежно від агротехнічних заходів. *Scientific Horizons*. 2018. № 7–8. С. 116–124.

13. Дроздова О. В. Продуктивність та хімічний склад зеленої маси сумісних посівів різних гібридів кукурудзи та сорго. *Науково-технічний бюлетень Інституту тваринництва НААН*. 2015. № 114. С. 69–73.

14. Grabovskyi M., Lozinskyi M., Grabovska T., Roubik H. Green mass to biogas in Ukraine – bioenergy potential of corn and sweet sorghum. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2023. Vol. 13, Iss. 4. P. 3309–3317. doi: 10.1007/s13399-021-01316-0

15. Грабовський М. Б. Вплив заходів контролювання чисельності бур'янів на ріст та розвиток кукурудзи. *Агробіологія*. 2017. № 2. С. 45–54.

16. Грабовський М. Б. Регулювання рівня забур'яненості посівів сорго цукрового агротехнічними і хімічними методами. *Карантин і захист рослин*. 2018. № 3. С. 33–37.

17. Safdar M. E., Tanveer A., Khaliq A., Riaz M. A. Yield losses in maize (*Zea mays*) infested with parthenium weed. *Crop Protection*. 2015. Vol. 70. P. 77–82. doi: 10.1016/j.cropro.2015.01.010

18. Правдива Л. А., Дубовий Ю. П. Захист посівів сорго зернового від бур'янів у Правобережному Лісостепу України. *Карантин і захист рослин*. 2018. № 3. С. 31–32.

19. Методика випробування і застосування пестицидів / за ред. С. О. Трибеля. Київ : Світ, 2001. 448 с.

20. Роїк М. В., Правдива Л. А., Ганженко О. М. та ін. Методичні рекомендації з вирощування сорго зернового як сировини для харчової промисловості та виробництва біопалива. Київ : Компрінт, 2020. 21 с.

21. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ : Поліграф Консалтинг, 2007. 56 с.
22. Rivero R. M., Mittler R., Blumwald E., Zandalinas S. I. Developing climate-resilient crops: improving plant tolerance to stress combination. *Plant Journal*. 2022. Vol. 109, Iss. 2. P. 373–389. doi: 10.1111/tpj.15483
23. Takanashi H. Genetic control of morphological traits useful for improving sorghum. *Breeding Science Preview*. 2023. Vol. 73, Iss. 1. P. 57–69. doi: 10.1270/jsbbs.22069
24. Kazungu F. K., Muindi E. M., Mulinge J. M. Overview of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.), its Economic Importance, Ecological Requirements and Production Constraints in Kenya. *International Journal of Plant & Soil Science*. 2023. Vol. 35, Iss. 1. P. 62–71. doi: 10.9734/IJPSS/2023/v35i12744
10. Tkachenko, M. A., Zadubynna, Ye. V., Tsiuk, O. A., & Kondratiuk, I. M. (2022). Monitoring of weediness of soybean crops in short rotation crop rotation. *Bulletin of Agricultural Science*, 7, 29–35. doi: 10.31073/agrovisnyk202207-05 [In Ukrainian]
11. Hrytsiuk, N. V., Plotnytska, N. M., Tymoshchuk, T. M., Dovbysh, L. L., & Bondareva, L. M. (2020). Influence of the tillage on weediness of winter wheat crops in conditions of Ukrainian Polissia. *Scientific Horizons*, 5, 15–21. doi: 10.33249/2663-2144-2020-90-5-15-21 [In Ukrainian]
12. Kyrlyuk, V. P., Tymoshchuk, T. M., & Shulha, S. Iu. (2018). Weed component formation of white mustard agrophytocenosis depending on agrotechnical measures. *Scientific Horizons*, 7–8, 116–124. [In Ukrainian]
13. Drozdova, O. V. (2015). Green mass of different hybrids maize and sorghum mixed crops productivity and chemical composition. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Animal Science of the National Academy of Agrarian Science of Ukraine*, 114, 69–73. [In Ukrainian]
14. Grabovskiy, M., Lozinskyi, M., Grabovska, T., & Roubik, H. (2023). Green mass to biogas in Ukraine – bioenergy potential of corn and sweet sorghum. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(4), 3309–3317. doi: 10.1007/s13399-021-01316-0
15. Grabovskiy, M. (2017). Weed control measures impact on corn growth and development. *Agrobiologia*, 2, 45–54. [In Ukrainian]
16. Grabovskiy, M. B. (2018). Regulation of weediness in sweet sorghum crops by agrotechnical and chemical methods. *Quarantine and Plant Protection*, 3, 33–37. [In Ukrainian]
17. Safdar, M. E., Tanveer, A., Khaliq, A., & Riaz, M. A. (2015). Yield losses in maize (*Zea mays*) infested with parthenium weed. *Crop Protection*, 70, 77–82. doi: 10.1016/j.cropro.2015.01.010
18. Pravdyva, L. A., & Dubovyi, Yu. P. (2018). Protection of sorghum grain crops in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Quarantine and Plant Protection*, 3, 31–32. [In Ukrainian]
19. Trybel, S. O. (Ed.). (2001). *Metodyka vyprovuvannia i zastosuvannia pestytsydiv* [Methods of testing and application of pesticides]. Kyiv: Svit. [In Ukrainian]
20. Roik, M. V., Pravdyva, L. A., Hanzhenko, O. M., Doronin, V. A., Sinchenko, V. M., Kurylo, V. V., ... Yalanskyi, O. V. (2020). Metodichni rekomendatsii z tekhnolohii vyroshchuvannia sorho zernovoho yak syrovyny dlia kharchovoi promyslovosti ta vyrobnytstva biopalyva [Guidelines for the technology of cultivation of grain sorghum as a raw material for the food industry and biofuel production]. Kyiv: Kompyrnt. [In Ukrainian]
21. Ermantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statystychnyi analiz ahronomnykh danykh v paketi Statistica 6.0* [Statistical analysis of agronomic research data in package Statistica 6.0]. Kyiv: Polihraf Konsal'tynh. [In Ukrainian]
22. Rivero, R. M., Mittler, R., Blumwald, E., & Zandalinas, S. I. (2022). Developing climate-resilient crops: improving plant tolerance to stress combination. *Plant Journal*, 109(2), 373–389. doi: 10.1111/tpj.15483
23. Takanashi, H. (2023). Genetic control of morphological traits useful for improving sorghum. *Breeding Science Preview*, 73(1), 57–69. doi: 10.1270/jsbbs.22069
24. Kazungu, F. K., Muindi, E. M., & Mulinge, J. M. (2023). Overview of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.), its Economic Importance, Ecological Requirements and Production Constraints in Kenya. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(1), 62–71. doi: 10.9734/IJPSS/2023/v35i12744UDC633.174:631.5:620.9

References

1. Popescu, A., Dinu, T. A., & Stoian, E. (2018). Sorghum – an important cereal in the world, in the European Union and Romania. *Scientific papers. Series Management Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 18(4), 271–284.
2. Somegowda, V. K. Vemula, A., Naravula, J., Prasad, G., Rayaprolu, L., Rathore, A., ... Deshpande, S. P. (2021). Evaluation of fodder yield and fodder quality in sorghum and its interaction with grain yield under different water availability regimes. *Current Plant Biology*, 25, Article 100191. doi: 10.1016/j.cpb.2020.100191
3. Begna, T. (2021). Effect of striga species on sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) production and its integrated management approaches. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*, 7(7), 10–22. doi: 10.20431/2454-6224.0707002
4. Sarshad, A., Talei, D., Torabi, M., Rafiei, F., & Nejatkhah, P. (2021). Morphological and biochemical responses of *Sorghum bicolor* (L.) Moench under drought stress. *SN Applied Sciences*, 3(1), Article 81. doi: 10.1007/s42452-020-03977-4
5. Pravdyva, L. A., Doronin, V. A., Dryha, V. V., Khakhula, V. S., Vakhniy, S. P., & Mykolaiko, I. I. (2022). Yield capacity and energy value of sorghum grain depending on the application of mineral fertilisers. *Zemdirbyste-Agriculture*, 109(2), 115–122. doi: 10.13080/z-a.2022.109.015
6. Bollam, S., Romana, K. K., Rayaprolu, L., Vemula, A., Das, R. R., Rathore, A., ... Gupta, R. (2021). Nitrogen use efficiency in Sorghum: exploring native variability for traits under variable N-Regimes. *Frontiers in Plant Science*, 12, Article 643192. doi: 10.3389/fpls.2021.643192
7. Zuza, V. S., & Hutianskyi, R. A. (2018). A new approach to the types of weediness of crops. *Quarantine and Plant Protection*, 3, 4–6. [In Ukrainian]
8. Kurdiukova, O. M., & Tyshchuk, O. P. (2019). Soil contamination with weed seeds and measures to reduce it. *Plant Protection and Quarantine*, 65, 100–110. [In Ukrainian]
9. Gutiansky, R., Popov, S., Kostromitin, V., Kuzmenko, N., & Gluboky, O. (2021). The influence of basic tillage and fertilizer on weediness of sunflower crops. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 1, 60–68. doi: 10.31521/2313-092X/2021-1(109)-8 [In Ukrainian]

UDC 633.174:631.5:620.9

Pravdyva, L. A.^{1*}, Hanzhenko, O. M.¹, & Honcharuk, H. S.² (2023). Productivity of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] and soryz (*S. oryroidum*) depending on methods of weed control. *Plant Varieties Studying and Protection*, 19(3), 176–184. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.19.3.2023.287641>

¹*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03141, Ukraine, *e-mail: bioplant_@ukr.net*

²*Yaltushkiv Research and Breeding Station, Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of NAAS of Ukraine, 4 Seleksiina St., Chereshneve village, Bar District, Vinnytsia Region, 23074, Ukraine*

Purpose. To establish the effectiveness of methods of controlling the number of weeds on the energy productivity of sorghum and soryz in the conditions of unstable moisture in the western part of the forest-steppe of Ukraine. **Methods.** Field, laboratory, mathematical and statistical methods were used in the experiments. Thus, field research consists of studying the biological and ecological characteristics of growth, productivity and quality of the crop, including observation, recording of conditions and results. The purpose of the laboratory method is to identify the relationship between the plant and the environment (soil) through their analysis. Mathematical and statistical methods are used to process experimental data in order to increase the validity of the results. **Results.** Over the years of research, the species and quantitative composition of weeds in crops of sorghum and soryz was established. The highest efficiency of weed control was observed in the variant with manual weeding – 95.0–97.0%, with chemical treatment – 82.0–83.0%, with mechanical treatment – 78.6–88.5%. On the other hand, in the control variant (no maintenance), weediness increased by 10.3–13.9%. The lowest grain and biomass yields in the varieties ‘Dniprovskiy 39’ (2.35 and 22.23 t/ha)

and ‘Samaran 6’ (2.50 and 22.7 t/ha) were obtained in the weeded variant (control); slightly higher for the mechanical treatment. The use of a chemical control method helped to increase the yield to 3.40 t/ha of grain and 29.07 t/ha of biomass in sorghum and 2.80 t/ha of grain and 27.73 t/ha of biomass in soryz; manual weeding – up to 3.90 t/ha of grain and 32.13 t/ha of biomass in sorghum and 3.50 t/ha of grain and 30.63 t/ha of biomass in soryz. **Conclusions.** The highest estimated yields of bioethanol and solid biofuel per unit area were obtained by manual weeding in the cultivation of sorghum (1.29 and 9.16 t/ha) and soryz (1.16 and 9.09 t/ha). The total energy output was 181.62 and 177.02 GJ/ha respectively. In other versions of the experiment, the noted indicators were lower. Correlation regression analysis of the data showed a strong correlation between grain productivity and bioethanol output, solid biofuel yield and output, grain productivity and energy output from bioethanol, biomass yield and energy output from solid biofuel. The correlation coefficient ranged from 0.87 to 0.99 and the coefficient of determination ranged from 0.78 to 0.99.

Keywords: sorghum; soryz; weeds; herbicide; productivity; bioethanol; solid biofuel.

Надійшла / Received 17.07.2023
Погоджено до друку / Accepted 29.08.2023

Особливості формування продуктивності високоолеїнових сортів соняшнику однорічного *Helianthus annuus* L.

О. В. Топчій*, І. В. Смульська, О. Б. Орленко, Т. М. Хоменко, Н. І. Довбаш, О. А. Руденко

Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Генерала Родимцева, 15, м. Київ, 03041, Україна,
*e-mail: psp.uiesr@gmail.com

Мета. Оцінити нові сорти високоолеїнового соняшнику однорічного (*Helianthus annuus* L.) за основними господарсько-цінними показниками: врожайністю, стійкістю проти хвороб, вмістом олеїнової кислоти, олії та білка. **Методи.** Кваліфікаційну експертизу сортів соняшнику однорічного на придатність до поширення в Україні (ПСП) проводили в пунктах досліджень Українського інституту експертизи сортів рослин в межах ґрунтово-кліматичних зон Степу та Лісостепу впродовж 2021–2022 рр. Дослідження здійснювали відповідно до «Методики проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні (Загальна частина)» та «Методики проведення експертизи сортів рослин групи технічних та кормових на придатність до поширення в Україні». **Результати.** Внесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, нові сорти соняшнику однорічного 'LG50475', 'OKLLAOMA', 'P64HE418', 'RGT CHARLOTTE CL', 'SY DIEGO CLP', 'F4987VO', 'N4H422 KL', 'LG50779 SX', 'SUBEO' та 'SY FENOMENO' проаналізовано за сортовим потенціалом з огляду на такі господарсько-цінні ознаки, як урожайність, вміст олеїнової кислоти та олії. Впродовж 2021–2022 рр. зона Лісостепу переважала над іншими за показниками врожайності. Найвищі її значення серед досліджуваних сортів продемонстрували 'LG50475' (2,61–3,99 т/га), 'OKLLAOMA' (2,73–3,89 т/га) та 'LG50779 SX' (2,50–3,57 т/га). Найбільшим вмістом олеїнової кислоти (показник якості) відзначилися 'P64HE418' – 86,4% в зоні Степу та 87,3% в зоні Лісостепу; 'LG50475' та 'SY DIEGO CLP' – по 87,3% в зоні Лісостепу. **Висновки.** За результатами кваліфікаційної експертизи на придатність сорту для поширення всі досліджувані сорти рекомендовано до вирощування у степовій і лісостеповій зонах. Максимальний вміст олії одержано в насінні сорту 'OKLLAOMA' (50,9% у Степу та 52,0% в Лісостепу). Найбільше білка – в насінні 'RGT CHARLOTTE CL' (18,0% у зоні Степу) та 'P64HE418' (15,8% у зоні Лісостепу). Максимальний збір олії з гектара (по 1,78 т/га в сортів 'OKLLAOMA', 'SY FENOMENO' та 'SUBEO') отримано в Лісостепу, що зумовлено ліпшими врожайністю та вмістом олії саме в цій ґрунтово-кліматичній зоні.

Ключові слова: кваліфікаційна експертиза; врожайність; насіння; вміст олеїнової кислоти; вміст олії; вміст білка; стійкість проти хвороб.

Вступ

Соняшник однорічний (*Helianthus annuus* L.) – одна з найрозповсюдженіших олійних культур у світі, що за значущістю поступається лише олійній пальмі, сої та ріпаку [1–5]. В Україні соняшник є досить поширеною сільськогосподарською культурою.

Соняшникова олія – висококалорійний продукт, використовуваний у харчовій промисловості, кулінарії та на корм тваринам [6–9]. Її висока цінність зумовлена вмістом

приблизно 90% ненасичених жирних кислот, зокрема олеїнової (42–57%) [9–10] та лінолевої (33–48%) [9], застосовуваних для профілактики захворювань серця, судин, печінки, онкологічних та інших хвороб [6, 11, 12]. Продукти, смажені на олії з великою кількістю олеїнової кислоти, цінують за їхній смак і термоокислювану стабільність [6, 10, 13]. Порівнюючи з іншими високоолеїновими, соняшникова олія за вмістом цієї кислоти переважає сафлорову (78%), соєву (73%), ріпакову та канолову (75–73%) [3, 14]. Також в олії соняшнику в невеликій кількості присутні стеаринова та пальмітинова кислоти. На утворення олеїнової й лінолевої кислот найбільше впливають генотип і температура. Водночас вплив надходження азоту є незначним і залежить від часу його внесення [13].

Збиральна площа соняшнику однорічного у світі протягом 2021–2022 рр. становила 28,75 млн га (на 7% більше ніж попереднього сезону), в Україні – 7,1 млн га (25% від загальної світової кількості). Третина світового виробництва цієї рослини належить нашій державі [7]. Це одна з головних культур у сівозмі-

Oksana Topchii

<https://orcid.org/0000-0003-2797-2566>

Ivanna Smulska

<https://orcid.org/0000-0001-9675-0620>

Oleksandr Orlenko

<https://orcid.org/0000-0002-3309-0810>

Tatyana Khomenko

<https://orcid.org/0000-0001-9199-6664>

Nadiia Dovbash

<https://orcid.org/0000-0002-4741-2657>

Oleksandr Rudenko

<https://orcid.org/0000-0002-1928-2832>

ні українських аграріїв, що має стабільно високу рентабельність. Середній її врожай досягає 2,8 т/га [11]. Водночас Україна посідає перше місце у світі з експорту соняшникової олії [7].

Частка сорту у збільшенні збору продукції становить 30–50% [15], тому підвищення прибутковості внаслідок збільшення врожайності соняшнику й виходу олії, а також поліпшення якості останньої можна досягнути, правильно добираючи сортимент та вирощуючи нові високоврожайні сорти.

Проаналізувавши сортові ресурси від початку ведення селекції, можна зробити висновок, що олійність раніше створених сортів становила 32–34%, тоді як натеper цей показник перевищує 50% [16].

Мета досліджень – оцінити нові сорти високоолеїнового соняшнику однорічного (*Helianthus annuus* L.) за основними господарсько-цінними показниками: врожайністю, стійкістю проти хвороб, умістом олеїнової кислоти, олії та білка.

Матеріали та методика досліджень

Кваліфікаційну експертизу сортів соняшнику однорічного на ПСП здійснювали впродовж двох років (2021–2022) у межах ґрунтово-кліматичних зон Степу [Донецька (с. Гришине, Покровський р-н, Донецька обл.), Кіровоградська (с. Новоселиця, Благовіщенський р-н, Кіровоградська обл.), Одеська (с. Новоселівка, Роздільнянський р-н, Одеська обл.), Дніпропетровська (с. Семенівка, Криничанський р-н, Дніпропетровська обл.) філії УІЕСР] та Лісостепу [Вінницька (с. Голубече, Крижопільський р-н, Вінницька обл.), Сумська (с. Лікарське, Сумський р-н, Сумська обл.), Черкаська (с. Дзензелівка, Маньківський р-н, Черкаська обл.), Полтавська (м. Карлівка, Карлівський р-н, Полтавська обл.) філії УІЕСР]. Усереднений показник урожайності заявленого сорту порівнювали з розраховуваним щороку для різних ґрунтово-кліматичних зон України та блоків досліджень за групами стиглості умовним стандартом (усередненим показником урожайності сортів, які пройшли державну реєстрацію за попередні п'ять років) [17, 18]. Вірогідність результатів забезпечували щонайменше трьома пунктами досліджень в одній ґрунтово-кліматичній зоні.

У процесі досліджень послуговувалися «Методикою проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні (Загальна частина)» [17] та «Методикою проведення експертизи сортів рослин групи технічних та кормових на придатність до поширення в Україні» [18].

Сезон соняшнику однорічного 2021 року відзначився достатнім зволоженням ґрунту навесні та прохолоднішим ніж у 2019 і 2020 рр. температурним режимом вирощування. Середньодобова температура повітря в усіх пунктах досліджень перевищила кліматичні норми на 1–2 °С. Максимальні показники спостерігали у третій декаді червня, коли спека досягала +38 °С. У лісостеповій зоні найбільше підвищення температури становило майже +30 °С. Основна кількість атмосферної вологи у травні випала впродовж другої та третьої декади.

Початок вегетації 2022 року характеризувався малою кількістю опадів, тому соняшник висівали в сухий ґрунт. Рослини від повних сходів до фізіологічної стиглості перебували під дією ґрунтово-повітряної засухи.

Вміст олії в насінні соняшнику однорічного визначали експрес-методом, використовуючи ядерно-магнітний аналізатор ЯМР MGC 5-11; кількість білка встановлювали за допомогою інфрачервоного аналізатора Instalab 700 (DICKKEY-john, США); жирнокислотний склад олії з'ясували газохроматографічним методом на газовому хроматографі Shimadzu Nexis GC 2030. У кожному з випадків послуговувалися «Методикою проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення. Методи визначення показників якості продукції рослинництва» [19]. Дослідження проводили в лабораторії показників якості сортів рослин Українського інституту експертизи сортів рослин.

Збір олії з гектара розраховували за формулою:

$$A = U \times K \times J$$

де А – збір олії; U – урожайність (т/га) за стандартної вологості; K – коефіцієнт сухої речовини; J – частка жиру в насінні, %.

Результати досліджень

Реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні, станом на серпень 2023 року налічує 1030 сортів соняшнику однорічного, з яких 696 (68,0%) іноземної та 334 (32,0%) вітчизняної селекції. За групами стиглості: ультрананьостиглих – 2 шт. (2,6%), ранньостиглих – 27 (35,1%), середньоранньостиглих – 25 (32,5%), середньостиглих – 15 (19,5%), інших – 8 шт. (10,4%) [20].

Чисельність сортів у експертизі впродовж останніх п'яти років змінювалася від 3 до 19. Найбільшу кількість високоолеїнового соняшнику досліджували 2021 року. Збільшення чисельності відбувалося завдяки сортам іноземної селекції.

Усього до Реєстру внесено 77 високоолеїнових сортів соняшнику однорічного. Зокрема, 13 з них (11 шт., або 84,6%, іноземної селекції та 2 шт., або 15,4%, вітчизняної) – у 2022 р. (табл. 1). Кращими за врожайністю виявилися ‘LG50475’, ‘OKLLAOMA’, ‘LG50779 SX’, які проходили кваліфікаційну експертизу на ПСП у зонах Степу та Лісостепу у 8 пунктах досліджень.

Таблиця 1

Динаміка кількості сортів високоолеїнового соняшнику однорічного в Реєстрі сортів

Рік експертизи	Всього	Кількість сортів соняшнику однорічного			
		вітчизняної селекції		іноземної селекції	
		шт.	%	шт.	%
2007	2	–	–	2	100
2008	1	1	100	–	–
2009	–	–	–	–	–
2010	3	–	–	3	100
2011	3	1	33,3	2	66,6
2012	–	–	–	–	–
2013	–	–	–	–	–
2014	5	1	20	4	80,0
2015	4	4	100	–	–
2016	3	1	33,3	2	66,6
2017	5	–	–	5	100
2018	3	1	33,3	2	66,6
2019	8	–	–	8	100
2020	8	3	37,5	5	62,5
2021	19	2	10,5	17	89,5
2022	13	2	15,4	11	84,6

Сільське господарство – найуразливіша до коливань і змін клімату галузь економіки України. Адже функціонування землеробства та тваринництва, їхня спеціалізація, врожайність сільськогосподарських культур значною мірою залежать від агрокліматичних умов території, особливо від її тепло- та вологозабезпеченості. Зміна термічного режиму та режиму зволоження впливає на швидкість біохімічних процесів, ріст, розви-

ток і формування продуктивності рослин, кормову базу тваринництва та його продуктивність і, зрештою, на продовольчу безпеку держави [21].

Загалом, 2021 р. за показниками врожайності (3,45–4,47 т/га у зоні Лісостепу та 2,06–3,06 т/га в зоні Степу) переважав над 2022-м. Найвищі значення продемонстрували сорти ‘SUBEO’ (Степ – 2,54 т/га, Лісостеп – 4,00 т/га), ‘LG50475’ (Степ – 2,61 т/га, Лісостеп – 3,99 т/га) та ‘OKLLAOMA’ (Степ – 2,73 т/га, Лісостеп – 3,89 т/га) (табл. 2).

Високоолеїнові сорти соняшнику однорічного ‘LG50475’, ‘RGT CHARLOTTE CL’, ‘F4987VO’ належать до ранньостиглої групи з періодом вегетації 101–115 діб. Урожайність ‘RGT CHARLOTTE CL’ переважає умовний стандарт на 0,04 т/га, або 1,1%, у лісостеповій зоні та перебуває в межах нижнього значення довірчого інтервалу у степовій. ‘LG50475’ перевищує умовний стандарт на 0,27 т/га, або 11,5%, у степовій зоні та на 0,23 т/га, або 6,1%, у лісостеповій.

‘SY DIEGO CLP’ і ‘SUBEO’ – сорти середньоранньостиглої групи. Тривалість періоду вегетації – 116–125 діб. Показники врожайності ‘SY DIEGO CLP’ в обох ґрунтово-кліматичних зонах перебувають у межах нижнього значення довірчого інтервалу; в ‘SUBEO’ – перевищують умовний стандарт на 0,20 т/га, або 5,3%, в Лісостепу та є в межах нижнього значення довірчого інтервалу в Степу.

Сорти ‘OKLLAOMA’, ‘P64HE418’, ‘N4H422 KL’, ‘LG50779 SX’, ‘SY FENOMENO’ належать до середньостиглої групи. Тривалість періоду вегетації – понад 125 діб. Перевищення середньої врожайності для ‘OKLLAOMA’ становить 0,26 т/га, або 10,5%, у Степу та 0,17 т/га, або 14,6%, у Лісостепу; ‘P64HE418’ – 0,03 т/га, або 1,2%, у Степу; ‘LG50779 SX’ – 0,03 т/га, або 1,2%, у Степу;

Таблиця 2

Урожайність сортів високоолеїнового соняшнику однорічного залежно від ґрунтово-кліматичної зони, т/га

Сорт	Степ				Лісостеп			
	усереднена*	2021	2022	середня	усереднена*	2021	2022	середня
‘LG50475’	2,34	3,06	2,16	2,61	3,76	4,11	3,87	3,99
‘OKLLAOMA’	2,47	3,04	2,41	2,73	3,72	4,47	3,0	3,89
‘P64HE418’	2,47	2,63	2,37	2,50	3,72	3,45	3,38	3,41
‘RGT CHARLOTTE CL’	2,34	2,17	2,24	2,20	3,76	4,44	3,16	3,80
‘SY DIEGO CLP’	2,61	2,95	2,13	2,54	3,80	4,07	3,35	3,71
‘F4987VO’	2,34	2,06	1,84	1,95	3,76	3,65	3,28	3,47
‘N4H422 KL’	2,47	2,12	2,32	2,22	3,72	4,14	3,24	3,69
‘LG50779 SX’	2,47	2,81	2,19	2,50	3,72	3,75	3,39	3,57
‘SUBEO’	2,61	2,93	2,15	2,54	3,80	4,25	3,75	4,00
‘SY FENOMENO’	2,47	2,58	2,24	2,41	3,72	4,36	3,48	3,92
HIP _{0,05}	0,10	0,40	0,16	0,23	0,03	0,35	0,26	0,21

* Усереднена врожайність сортів, що пройшли державну реєстрацію за п’ять попередніх років

‘SY FENOMENO’ – 0,20 т/га, або 5,4%, в Лісостепу. В межах нижнього значення довірчого інтервалу перебуває врожайність таких сортів: ‘N4H422 KL’ і ‘LG50779 SX’ – у лісостеповій зоні; ‘SY FENOMENO’ – у степовій.

Уміст олії в насінні досліджуваних сортів змінювався в межах 45,0–53,5% залежно від ґрунтово-кліматичної зони та року. Найвищими показниками в Степу відзначилися ‘OKLLAOMA’ (52,6%), ‘RGT CHARLOTTE CL’ (50,7%) у 2022 р. та ‘SY FENOMENO’ (50,2%), ‘LG50475’ (50,1%), ‘P64HE418’ (50,1%) у 2021 р.; найнижчими – ‘SY DIEGO CLP’ (45,0%), ‘SUBEO’ (46,8%) у 2022 р. та ‘RGT

CHARLOTTE CL’ (47,1%), ‘LG50779 SX’ (48,0%) у 2021 р. У Лісостепу мінімальні значення отримано для сортів ‘SY DIEGO CLP’ (46,7% у 2021 р. та 49,9% у 2022 р.) та ‘LG50779 SX’ (48,3% у 2021 р. та 50,8% у 2022 р.); максимальні – для ‘OKLLAOMA’ (50,5% у 2021 р. та 53,5% у 2022 р.), ‘SY FENOMENO’ (51,4% у 2021 р. та 51,7% у 2022 р.) та ‘SUBEO’ (50,5% у 2021 р.).

Найвищі середні показники вмісту олії у степовій зоні продемонстрували ‘OKLLAOMA’ (50,9%) та ‘P64HE418’ (50,0%), у лісостеповій – ‘OKLLAOMA’ (52,0%) та ‘SY FENOMENO’ (51,6%) (табл. 3).

Таблиця 3

Уміст олії в насінні сортів соняшнику однорічного високоолеїнової групи залежно від років дослідження та ґрунтово-кліматичних зон, %

Сорт	Степ			Лісостеп		
	2021	2022	Середнє	2021	2022	Середнє
‘P64HE418’	50,1	49,9	50,0	48,9	51,1	50,0
‘LG50779 SX’	48,0	48,2	48,1	48,3	50,8	49,6
‘LG50475’	50,1	48,5	49,3	49,0	51,4	50,2
‘RGT CHARLOTTE CL’	47,1	50,7	48,9	50,0	51,3	50,7
‘OKLLAOMA’	49,2	52,6	50,9	50,5	53,5	52,0
‘SY DIEGO CLP’	48,4	45,0	46,7	46,7	49,9	48,3
‘SY FENOMENO’	50,2	49,5	49,9	51,4	51,7	51,6
‘SUBEO’	49,5	46,8	48,2	50,5	50,7	50,6
‘N4H422 CL’	48,1	49,0	48,6	50,2	51,5	50,9
HIP _{0,05}	1,21	2,39	1,36	1,55	1,07	1,19

Відповідно до класифікатора показників якості ботанічних таксонів, сорти яких проходять експертизу на придатність до поширення [22], сорти соняшнику однорічного, як правило, належать до середньоолійних зі вмістом олії 47,1–50,0% та високоолійних, де частка олії становить > 50,1%. За винятком ‘SY DIEGO CLP’ у 2022 р. в Степу та у 2021 р. в Лісостепу, всі досліджувані сорти є високоолійними (особливо в лісостеповій зоні).

У зоні Лісостепу 2022 року, порівнюючи з 2021-м, спостерігали підвищення вмісту олії в насінні сортів соняшнику однорічного. Найбільшим приростом характеризувалися ‘OKLLAOMA’ – на 3,0% та ‘SY DIEGO CLP’ – на 3,2%. В насінні ‘SY FENOMENO’ та ‘SUBEO’ кількість олії майже не змінилася. В зоні Степу її вміст у 2022 р. зменшився на 3,4% в сорту ‘SY DIEGO CLP’, збільшився на 3,6 і 3,4% у ‘RGT CHARLOTTE CL’ та ‘OKLLAOMA’ відповідно, а в ‘P64HE418’ та ‘LG50779 SX’ майже не змінився.

Отже, лісостепова зона переважала степову за показниками вмісту олії в насінні. Сорт ‘OKLLAOMA’ мав стабільно високий приріст в обох ґрунтово-кліматичних зонах, а ‘SY DIEGO CLP’ – лише в одній з них (рис. 1).

Збір олії з гектара варіювався в межах 0,84–1,99 т/га залежно від року досліджень, ґрунтово-кліматичної зони та сорту. В Степу найвищі показники отримано для ‘LG50475’ (1,35 т/га у 2021 р.), ‘P64HE418’ (1,04 т/га у 2022 р.) та ‘OKLLAOMA’ (1,32 т/га у 2021 р. та 1,12 т/га у 2022 р.); найнижчі – ‘RGT CHARLOTTE CL’ (0,90 т/га у 2021 р.), ‘N4H422 KL’ (0,90 т/га у 2021 р.), ‘SY DIEGO CLP’ (0,84 т/га у 2022 р.) та ‘SUBEO’ (0,89 т/га у 2022 р.). У лісостеповій зоні максимальними значеннями характеризувалися ‘OKLLAOMA’ (1,99 т/га у 2021 р.), ‘SY FENOMENO’ (1,97 т/га у 2021 р.), ‘LG50475’ (1,75 т/га у 2022 р.), ‘SUBEO’ (1,67 т/га у 2022 р.); мінімальними – ‘P64HE418’ (1,48 т/га у 2021 р.), ‘LG50779 SX’ (1,59 т/га у 2021 р.), ‘RGT CHARLOTTE CL’ (1,43 т/га у 2022 р.) та ‘OKLLAOMA’ (1,41 т/га у 2022 р.) (табл. 4).

За збором олії з гектара Лісостеп значно переважав Степ, що пояснюється вищими врожайністю та вмістом олії саме в цій ґрунтово-кліматичній зоні. Найвищі усереднені показники продемонстрував сорт ‘OKLLAOMA’ – 1,22 (Степ) та 1,78 т/га (Лісостеп).

Відповідно до класифікатора показників якості ботанічних таксонів, сорти соняшнику однорічного належать до високоолеїнових,

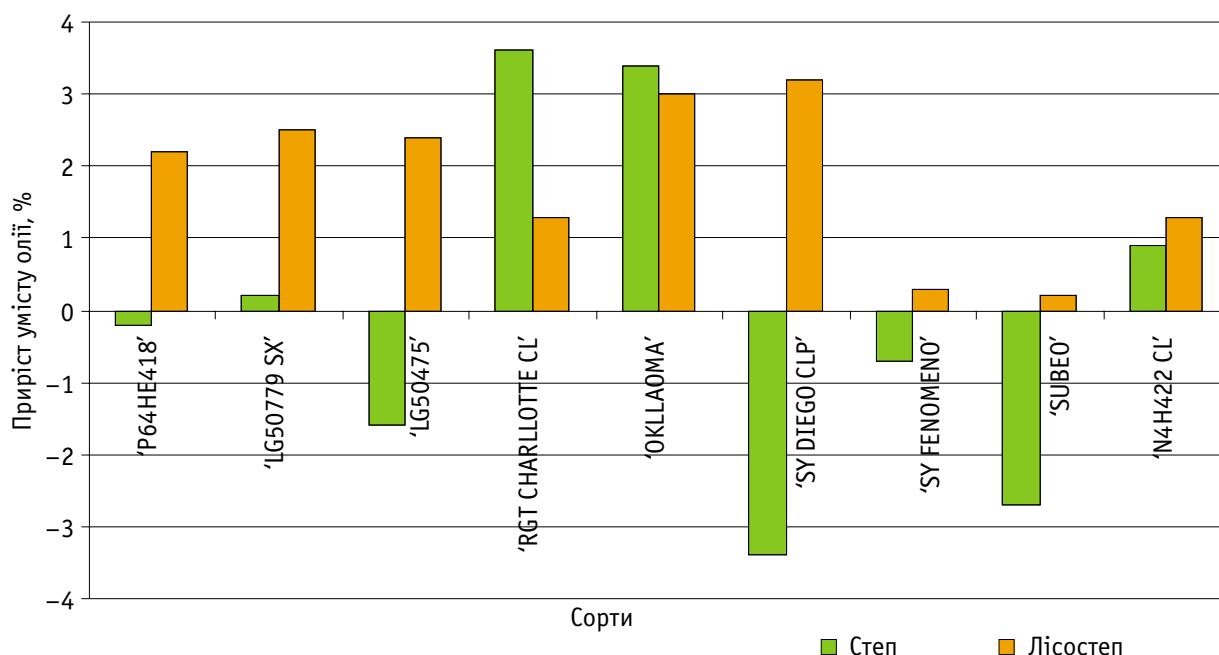


Рис. 1. Приріст умісту олії в насінні сортів соняшнику однорічного високоолеїнової групи у 2022 р., порівнюючи з 2021-м, у різних ґрунтово-кліматичних зонах

Таблиця 4

Збір олії для різних сортів соняшнику однорічного високоолеїнової групи залежно від років дослідження та ґрунтово-кліматичних зон, т/га (2021–2022 рр.)

Сорт	Степ			Лісостеп		
	2021	2022	Середнє	2021	2022	Середнє
'P64HE418'	1,16	1,04	1,10	1,48	1,52	1,50
'LG50779 SX'	1,19	0,93	1,06	1,59	1,52	1,56
'LG50475'	1,35	0,92	1,13	1,77	1,75	1,76
'RGT CHARLOTTE CL'	0,90	1,00	0,96	1,95	1,43	1,69
'OKLLAOMA'	1,32	1,12	1,22	1,99	1,41	1,78
'SY DIEGO CLP'	1,26	0,84	1,04	1,67	1,47	1,58
'SY FENOMENO'	1,14	0,98	1,06	1,97	1,58	1,78
'SUBEO'	1,28	0,89	1,08	1,89	1,67	1,78
'N4H422 KL'	0,90	1,00	0,95	1,83	1,47	1,65
HIP _{0,05}	0,18	0,09	0,09	0,20	0,12	0,12

якщо масова частка олеїнової кислоти в олії (основний показник якості) становить не менше ніж 60% [22]. Найпоширеніші типи соняшнику за жирнокислотним складом олії – олеїновий (високий уміст олеїнової кислоти і низький лінолевої) та лінолевий, чи олійний (високий уміст лінолевої кислоти та низький олеїнової).

Жирнокислотний склад олії визначали на газовому хроматографі Shimadzu Nexis. Загалом, детектувалося 14 різних жирних кислот, більшість з яких в невеликій кількості присутні в олії соняшнику високоолеїнової групи. Водночас спостерігали значно вищий уміст стеаринової, пальмітинової, олеїнової та лінолевої кислот.

Залежно від ґрунтово-кліматичної зони та років дослідження вміст олеїнової кислоти в олії варіювався від 71,0 до 88,6% і був значно вищим у Лісостепу. В зоні Степу у 2021 р.

найнижчими показниками характеризувалися 'N4H422 KL' (71,0%) і 'SY DIEGO CLP' (72,6%), у 2022 р. – 'LG50475' (80,1%) і 'RGT CHARLOTTE CL' (84,8%); найвищими у 2021 р. – 'P64HE418' (87,3%) і 'RGT CHARLOTTE CL' (87,2%), у 2022 р. – 'LG50779 SX' (87,4%) і 'SY FENOMENO' (86,4%). В Лісостеповій зоні у 2021 р. найбільшу кількість олеїнової кислоти отримано для 'P64HE418' (88,6%), 'LG50475' (88,0%), у 2022 р. – 'SUBEO' (87,5%), 'SY DIEGO CLP' (87,0%) та 'OKLLAOMA' (87,0%); найменшу у 2021 р. – для 'OKLLAOMA' (79,6%), 'SUBEO' (81,7%) та 'SY FENOMENO' (81,9%), у 2022 р. – для 'N4H422 KL' (84,9%) і 'SY FENOMENO' (85,0%) (табл. 5). У середньому впродовж досліджень уміст олеїнової кислоти варіювався від 78,6 ('N4H422 KL') до 86,4% ('P64HE418') у Степу та від 83,3 ('OKLLAOMA') до 87,3% ('P64HE418', 'LG50475' та 'SY DIEGO CLP') у

Лісостепу. Сорти 'RGT CHARLOTTE CL', 'SY FENOMENO', 'P64HE418' і 'LG50779 SX'

мали майже однакові значення в обох ґрунтово-кліматичних зонах (рис. 2).

Таблиця 5

Уміст олеїнової та лінолевої кислот у насінні сортів соняшнику однорічного високоолеїнової групи в різних ґрунтово-кліматичних зонах (2021–2022 рр.)

Сорт	Степ		Лісостеп		Степ		Лісостеп	
	Олеїнова кислота, %				Лінолева кислота, %			
	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
'P64HE418'	87,3	85,5	88,6	86,0	3,6	5,4	2,3	4,6
'LG50779 SX'	81,5	87,4	83,9	86,9	7,5	4,4	6,0	5,0
'LG50475'	86,2	80,1	88,0	86,5	2,1	6,9	1,9	5,5
'RGT CHARLOTTE CL'	87,2	84,8	85,9	85,8	1,9	5,0	3,5	4,6
'OKLLAOMA'	77,9	85,9	79,6	87,0	10,6	5,4	10,4	5,5
'SY DIEGO CLP'	72,6	85,9	87,5	87,0	16,3	5,3	2,8	4,9
'SY FENOMENO'	79,7	86,4	81,9	85,0	9,4	4,6	7,2	6,8
'SUBEO'	80,1	86,1	81,7	87,5	5,0	4,7	7,2	4,7
'N4H422 KL'	71,0	86,2	86,5	84,9	18,3	3,8	4,6	5,1
НІР _{0,05}	6,50	2,28	3,48	1,00	6,48	0,95	3,08	0,76

За вмістом олеїнової кислоти в олії сортів соняшнику однорічного степова зона поступалася лісостеповій й тому переважала її за кількістю лінолевої у 2021 р. Найвищий вміст лінолевої кислоти в Степу у 2021 р. встановлено для сортів 'N4H422 KL' (18,3%) та 'SY DIEGO CLP' (16,3%), у 2022 р. – для 'LG50475' (6,9%), 'OKLLAOMA' (5,4%) та 'P64HE418' (5,4%); найнижчий у 2021 р. – для 'RGT CHARLOTTE CL' (1,9%) і 'LG50475' (2,1%), у

2022 р. – для 'N4H422 KL' (3,8%) і 'LG50779 SX' (4,4%). В Лісостепу у 2021 р. найбільше олеїнової кислоти одержано для 'OKLLAOMA' (10,4%), 'SY FENOMENO' (7,2%) та 'SUBEO' (7,2%), у 2022 р. – для 'SY FENOMENO' (6,8%), 'OKLLAOMA' (5,5%) та 'LG50475' (5,5%); найменше у 2021 р. – для 'LG50475' (1,9%) і 'P64HE418' (2,3%), у 2022 р. – для 'RGT CHARLOTTE CL' (4,6%), 'P64HE418' (4,6%) і 'SUBEO' (4,7%).

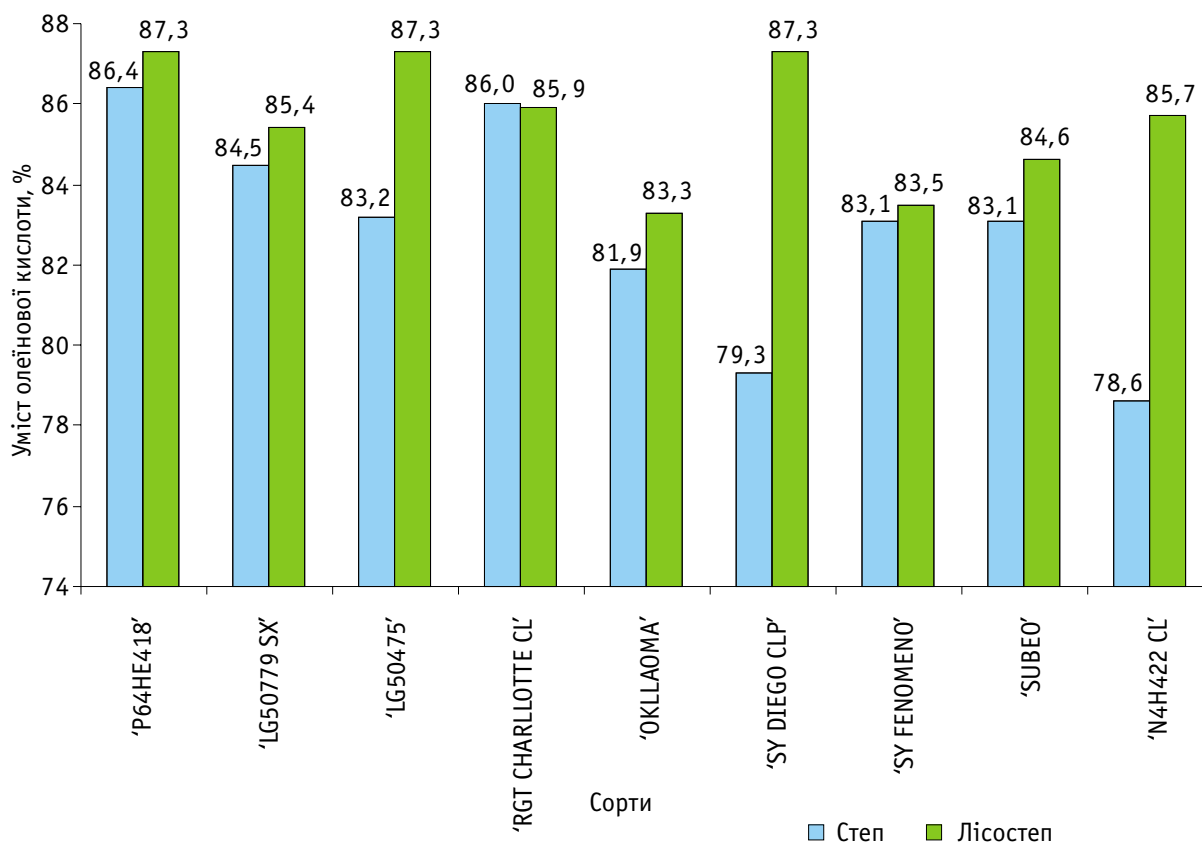


Рис. 2. Уміст олеїнової кислоти в насінні сортів соняшнику однорічного високоолеїнової групи залежно від ґрунтово-кліматичної зони вирощування (середнє за 2021–2022 рр.)

У середньому протягом років досліджень уміст лінолевої кислоти варіювався від 3,5 ('RGT CHARLOTTE CL') до 11,1% ('N4H422 KL') у Степу та від 3,5 ('P64HE418') до 8,0%

('OKLLAOMA') у Лісостепу. Однаковими показниками в обох ґрунтово-кліматичних зонах відзначилися сорти 'OKLLAOMA' (8,0%) та 'SY FENOMENO' (7,0%) (рис. 3).

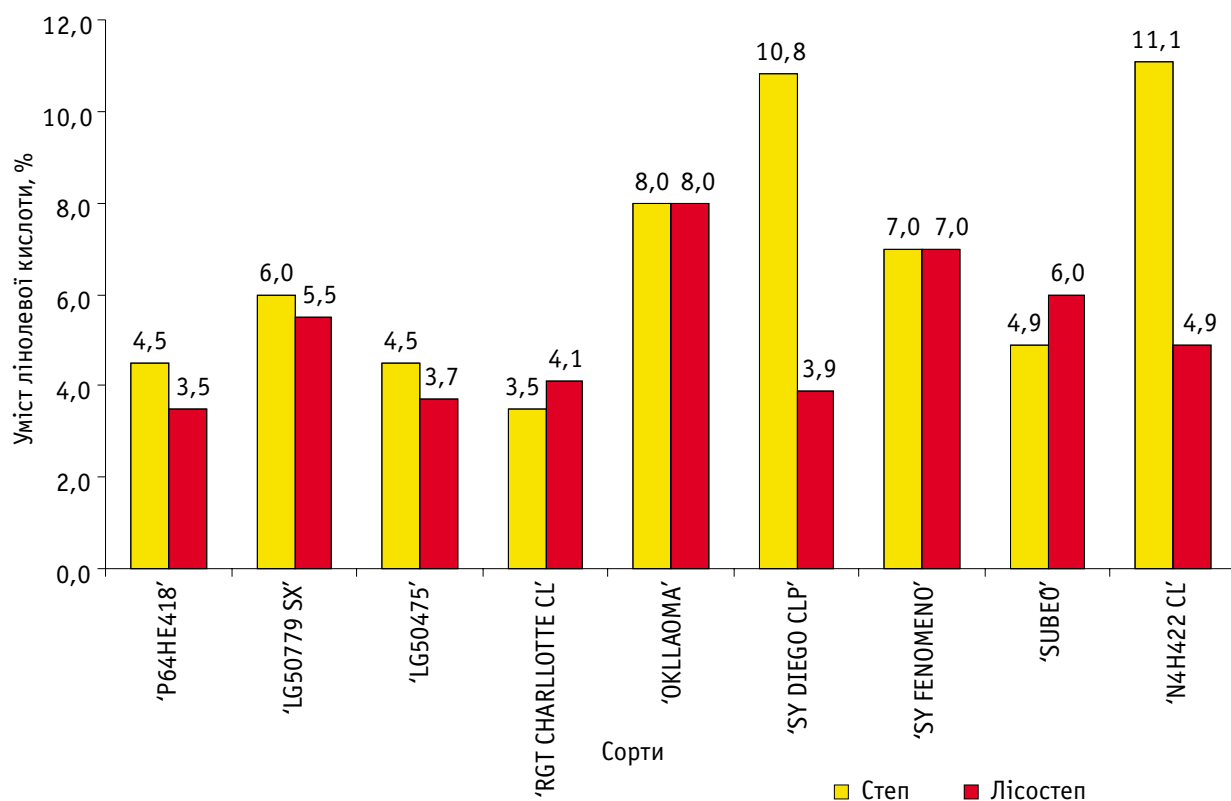


Рис. 3. Вміст лінолевої кислоти в насінні сортів соняшнику однорічного високоолеїнової групи у різних ґрунтово-кліматичних зонах (середнє за 2021–2022 рр.)

Отже, високоолеїнові сорти соняшнику містять понад 80% олеїнової кислоти та до 15% лінолевої.

Середня кількість пальмітинової та стеаринової кислот упродовж 2021–2022 рр. становила 3%. Мінімальний уміст пальмітинової кислоти (1,8% в зоні Лісостепу та 1,9% в зоні Степу) встановлено в сорту 'RGT CHARLOTTE CL'; максимальний – в 'OKLLAOMA' (2,7% у зоні Степу) та 'SUBEO' (2,7% у зоні Лісостепу). Найменше стеаринової кислоти отримано в 'LG50779 SX' (1,6% у Степу та 1,7% в Лісостепу), 'P64HE418' (1,6% у Степу) та 'N4H422 KL' (1,7% в Лісостепу); найбільше – в 'RGT CHARLOTTE CL' (по 2,2% в обох ґрунтово-кліматичних зонах) та 'OKLLAOMA' (2,2% у зоні Степу) (табл. 6).

Уміст білка протягом досліджень варіювався в межах 12,9–18,0% залежно від ґрунтово-кліматичної зони, року та сорту. Максимальні його значення в зоні Степу відмічено у 'RGT CHARLOTTE CL' (18,0%) і 'N4H422 KL' (17,4%); Лісостепу – в 'P64HE418' (15,8%) і 'RGT CHARLOTTE CL' (14,8%). Мінімаль-

Таблиця 6
Уміст пальмітинової та стеаринової кислот в олії сортів соняшнику однорічного високоолеїнової групи у різних ґрунтово-кліматичних зонах (середнє за 2021–2022 рр.)

Сорт	Степ	Лісостеп	Степ	Лісостеп
	Пальмітинова кислота, %		Стеаринова кислота, %	
'P64HE418'	2,1	2,3	1,7	1,8
'LG50779 SX'	2,3	2,4	1,7	1,6
'LG50475'	2,4	2,4	2,1	1,9
'RGT CHARLOTTE CL'	1,9	1,8	2,2	2,2
'OKLLAOMA'	2,7	2,4	2,2	2,1
'SY DIEGO CLP'	2,6	2,6	1,9	1,9
'SY FENOMENO'	2,5	2,4	1,9	2,0
'SUBEO'	2,5	2,7	1,8	1,9
'N4H422 KL'	2,5	2,3	1,8	1,7
HIP _{0,05}	0,27	0,27	0,22	0,20

ні показники в обох ґрунтово-кліматичних зонах отримано для 'LG50475' – 14,0 (Степ) і 12,9% (Лісостеп) та 'SUBEO' – 14,7 (Степ) та 13,5% (Лісостеп) (табл. 7).

У середньому степова зона на 1,7% переважала лісостепову за вмістом білка в досліджуваних сортах (на 3,2% у 'RGT CHARLOTTE CL', на 2,7% у 'N4H422 KL', на 2,4% в

‘OKLLAOMA’, на 0,8% у ‘SY FENOMENO’ та на 0,4% у ‘P64HE418’.

Таблиця 7

Уміст білка та лушпинність у сортів соняшнику однорічного високоолеїнової групи в різних ґрунтово-кліматичних зонах (середнє за 2021–2022 рр.)

Сорт	Степ	Лісостеп	Степ	Лісостеп
	Уміст білка, %		Лушпинність, %	
‘P64HE418’	16,2	15,8	22,4	23,8
‘LG50779 SX’	16,1	14,6	26,1	25,3
‘LG50475’	14,0	12,9	25,1	27,2
‘RGT CHARLOTTE CL’	18,0	14,8	25,3	23,2
‘OKLLAOMA’	16,1	13,7	27,4	24,4
‘SY DIEGO CLP’	15,3	13,6	27,1	28,6
‘SY FENOMENO’	14,9	14,1	23,4	23,0
‘SUBEO’	14,7	13,5	26,2	24,7
‘N4H422 KL’	17,4	14,7	26,4	24,0
HP _{0,05}	1,40	0,95	1,81	2,04

Показники лушпинності варіювалися в межах 22,4–28,6% залежно від сорту та ґрунтово-кліматичної зони. Найвищими значеннями в зоні Степу характеризувалися ‘OKLLAOMA’ (27,4%) та ‘SY DIEGO CLP’ (27,1%), Лісостепу – ‘LG50475’ (27,2%) і ‘SY DIEGO CLP’ (28,6%). Найнижчу лушпинність у зоні Степу продемонстрували ‘P64HE418’ (22,4%) та ‘SY FENOMENO’ (23,4%), Лісостепу – ‘SY FENOMENO’ (23,0%) та ‘RGT CHARLOTTE CL’ (23,2%).

Висновки

За результатами кваліфікаційної експертизи на придатність для поширення сорти ‘LG50475’, ‘OKLLAOMA’, ‘RGT CHARLOTTE CL’, ‘SY DIEGO CLP’, ‘F4987VO’, ‘LG50779 SX’, ‘SUBEO’ й ‘SY FENOMENO’ продемонстрували найвищу врожайність і поповнили сортимент соняшнику однорічного в Україні. Сорт ‘P64HE418’ рекомендовано для вирощування у зоні Степу, ‘N4H422 KL’ – Лісостепу, інші – в обох ґрунтово-кліматичних зонах.

Найвищим умістом олії в насінні характеризувалися ‘OKLLAOMA’ (50,9% у Степу та 52,0% в Лісостепу), ‘P64HE418’ (50,0% у Степу) та ‘SY FENOMENO’ (51,6% в Лісостепу). Максимальною кількістю білка відзначилися сорти ‘RGT CHARLOTTE CL’ (18,0% у зоні Степу) та ‘P64HE418’ (15,8% в зоні Лісостепу). Водночас стабільний його приріст властивий сорту ‘OKLLAOMA’ – 3,4% у степовій зоні та 3,0% в лісостеповій. Найбільший збір олії з гектара продемонстрували ‘OKLLAOMA’ – 1,22 т/га у Степу та 1,78 т/га в Лісостепу, а також ‘SY FENOMENO’ й ‘SUBEO’ – по 1,78 т/га в Лісостепу.

Максимальний уміст олеїнової кислоти за 2021–2022 рр. виявлено в сортів ‘P64HE418’

(86,4% в зоні Степу та 87,3% в зоні Лісостепу), ‘LG50475’ (87,3% в зоні Лісостепу) та ‘SY DIEGO CLP’ (87,3% в зоні Лісостепу). Найбільше лінолевої кислоти встановлено в ‘N4H422 KL’ (11,1% у степовій зоні) та ‘OKLLAOMA’ (8,0% в лісостеповій зоні).

Використана література

- Cheng Y., Lu M., Zhang T. et al. Organic substitution improves soil structure and water and nitrogen status to promote sunflower (*Helianthus annuus* L.) growth in an arid saline area. *Agricultural Water Management*. 2023. Vol. 283. Article 108320. doi: 10.1016/j.agwat.2023.108320
- Andrade A., Boero A., Escalante M. et al. Comparative hormonal and metabolic profile analysis based on mass spectrometry provides information on the regulation of water-deficit stress response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) inbred lines with different water-deficit stress sensitivity. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 168. P. 432–446. doi: 10.1016/j.plaphy.2021.10.015
- Adeleke B. S., Babalola O. O. Oilseed crop sunflower (*Helianthus annuus*) as a source of food: Nutritional and health benefits. *Food Science & Nutrition*. 2020. Vol. 8, Iss. 9. P. 4666–4684. doi: 10.1002/fsn3.1783
- Yegorov B., Turpurova T., Sharabaeva E., Bondar Y. Prospects of using by-products of sunflower oil production in compound feed industry. *Food Science and Technology*. 2019. Vol. 13, Iss. 1. P. 106–113. doi: 10.15673/fst.v13i1.1337
- Sher A., Suleman M., Sattar A. et al. Achene yield and oil quality of diverse sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids are affected by different irrigation sources. *Journal of King Saud University – Science*. 2022. Vol. 34, Iss. 4. Article 102016. doi: 10.1016/j.jksus.2022.102016
- Alberio C., Izquierdo N. G., Galella T. et al. A new sunflower high oleic mutation confers stable oil grain fatty acid composition across environments. *European Journal of Agronomy*. 2016. Vol. 73. P. 25–33. doi: 10.1016/j.eja.2015.10.003
- Шпичак О. М., Лупенко Ю. О., Боднар О. В. Аналіз поточної кон’юнктури і прогноз ринків рослинницької продукції в Україні та світі / за ред. О. М. Шпичака. Київ : ННЦ «ІАЕ», 2015. 336 с.
- Mohiuddin A. K. Indigenous plants as sources of pharmacological interests. *Journal of Global Biosciences*. 2019. Vol. 8, Iss. 1. P. 5900–5915.
- Sinha I., Buttar G. S., Brar A. S. Drip irrigation and fertigation improve economics, water and energy productivity of spring sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Indian Punjab. *Agricultural Water Management*. 2017. Vol. 185. P. 58–64. doi: 10.1016/j.agwat.2017.02.008
- Tonin P. Les productions françaises d’oléagineux de spécialité: des démarches en filière pour créer de la valeur dans nos territoires. *OCL-Oilseeds & Fats Crops and Lipids*. 2018. Vol. 25, No. 2. Article D203. doi: 10.1051/ocl/2018015
- Pilorgé E. Sunflower in the global vegetable oil system: situation, specificities and perspectives. *OCL-Oilseeds & Fats Crops and Lipids*. 2020. Vol. 27. Article 34. doi: 10.1051/ocl/2020028
- Hladni N., Miladinović D. Confectionery sunflower breeding and supply chain in Eastern Europe. *OCL-Oilseeds & Fats Crops and Lipids*. 2019. Vol. 26. Article 29. doi: 10.1051/ocl/2019019
- Flagella Z., Rotunno T., Tarantino E. et al. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. *European Journal of Agronomy*. 2002. Vol. 17, Iss. 3. P. 221–230. doi: 10.1016/S1161-0301(02)00012-6
- Petraru A., Ursachi F., Amariei S. Nutritional characteristics assessment of sunflower seeds, oil and cake. Perspective of using sunflower oilcakes as a functional ingredient. *Plants*. 2021. Vol. 10, Iss. 11. Article 2487. doi: 10.3390/plants10112487

15. Жук О. Я., Жук В. Ю. Стійкість сортів капусти білоголової проти судинного бактеріозу залежно від сорто типу і походження. *Овочівництво і баштанництво*. 2011. Вип. 57. С. 79–86. URL: <https://vegetables-journal.com/index.php/journal/issue/view/13/11>
16. Рудник-Івашченко О. І., Смульська І. В. Сортові ресурси соняшнику (*Helianthus annuus* L.) в Україні. *Посібник українського хлібороба*. 2014. Т. 2. С. 56–57.
17. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні (загальна частина) / за ред. С. О. Ткачик. 4-те вид., випр. і доп. Вінниця : ФOP Корзун Д. Ю., 2016. 120 с.
18. Методика проведення експертизи сортів рослин групи технічних та кормових на придатність до поширення в Україні (ПСП) / за ред. С. О. Ткачик. Вінниця : ФOP Корзун Д. Ю., 2017. 73 с.
19. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення. Методи визначення показників якості продукції рослинництва, 3-тє вид. випр. і доп. / за ред. С. О. Ткачик. Вінниця : ФOP Корзун Д. Ю., 2016. 159 с.
20. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2023 рік / Мін-во аграр. політики та прод-ва України. Київ, 2023. URL: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin>
21. Прокопенко К. О., Удова Л. О. Сільське господарство України: виклики і шляхи розвитку в умовах зміни клімату. *Економіка і прогнозування*. 2017. № 1. С. 92–107.
22. Класифікатор показників якості ботанічних таксонів, сорти яких проходять експертизу на придатність до поширення. Вінниця : ФOP Корзун Д. Ю., 2019. 16 с. URL: <https://sops.gov.ua/uploads/page/vidanna/2019/1.pdf>

References

1. Cheng, Y., Luo, M., Zhang, T., Yan, S., Wang, C., Dong, Q., ... Kisekka, I. (2023). Organic substitution improves soil structure and water and nitrogen status to promote sunflower (*Helianthus annuus* L.) growth in an arid saline area. *Agricultural Water Management*, 283, Article 108320. doi: 10.1016/j.agwat.2023.108320
2. Andrade, A., Boero, A., Escalante, M., Llanes, A., Arbona, V., Gómez-Cádenas, A., & Aleman, S. (2021). Comparative hormonal and metabolic profile analysis based on mass spectrometry provides information on the regulation of water-deficit stress response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) inbred lines with different water-deficit stress sensitivity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 168, 432–446. doi: 10.1016/j.plaphy.2021.10.015
3. Adeleke, B. S., & Babalola, O. O. (2020). Oilseed crop sunflower (*Helianthus annuus* L.) as a source of food: Nutritional and health benefits. *Food Science & Nutrition*, 8(9), 4666–4684. doi: 10.1002/fsn3.1783
4. Yegorov, B., Turpurova, T., Sharabaeva, E., & Bondar, Y. (2019). Prospects of using by-products of sunflower oil production in compound feed industry. *Food Science and Technology*, 13(1), 106–113. doi: 10.15673/fst.v13i1.1337
5. Sher, A., Suleman M., Sattar, A., Qayyum, A., Ijaz, M., Allah, S.-U., ... Elshikh, M. S. (2022). Achene yield and oil quality of diverse sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids are affected by different irrigation sources. *Journal of King Saud University – Science*, 34(4), Article 102016. doi: 10.1016/j.jksus.2022.102016
6. Alberio, C., Izquierdo, N. G., Galella, T., Zuil, S., Reid, R., Zambelli, A., & Aguirrezábal, L. A. (2016). A new sunflower high oleic mutation confers stable oil grain fatty acid composition across environments. *European Journal of Agronomy*, 73, 25–33. doi: 10.1016/j.eja.2015.10.003
7. Shpychak, O. M., Lupenko, Yu. O., & Bodnar, O. V. (2015). *Analiz potочноi koniunktury i prohnoz rynkiv roslynnytskoi produktsii v Ukraini ta sviti* [Analysis of the current situation and forecast of crop production markets in Ukraine and the world.]. O. M. Shpychak (Ed.). Kyiv: NNTS «IAE». [In Ukrainian]
8. Mohiuddin, A. (2019). Indigenous plants as sources of pharmacological interests. *Journal of Global Biosciences*, 8(1), 5900–5915.
9. Sinha, I., Buttar, G. S., & Brar A. S. (2017). Drip irrigation and fertigation improve economics, water and energy productivity of spring sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Indian Punjab. *Agricultural Water Management*, 185, 58–64. doi: 10.1016/j.agwat.2017.02.008
10. Tonin, P. (2018). Les productions françaises d'oléagineux de spécialité: des démarches en filière pour créer de la valeur dans nos territoires. *OCL-Oilseeds & Fats Crops and Lipids*, 25(2), Article D203. doi: 10.1051/ocl/2018015
11. Pilorgé, E. (2020). Sunflower in the global vegetable oil system: situation, specificities and perspectives. *OCL-Oilseeds & Fats Crops and Lipids*, 27, Article 34. doi: 10.1051/ocl/2020028
12. Hladni, N., & Miladinović, D. (2019). Confectionery sunflower breeding and supply chain in Eastern Europe. *OCL-Oilseeds & Fats Crops and Lipids*, 26, Article 29. doi: 10.1051/ocl/2019019
13. Flagella, Z., Rotunno, T., Tarantino, E., Di Caterina, R., & De Caro, A. (2002). Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. *European Journal of Agronomy*, 17(3), 221–230. doi: 10.1016/S1161-0301(02)00012-6
14. Petraru, A., Ursachi, F., & Amariei, S. (2021). Nutritional characteristics assessment of sunflower seeds, oil and cake. Perspective of using sunflower oilcakes as a functional ingredient. *Plants*, 10(11), Article 2487. doi: 10.3390/plants10112487
15. Zhuk, O. I., & Zhuk, V. I. (2011). Stability of the white-headed cabbage varie-ties against vascular bacteriosis, depending on the type and origin of a sort. *Vegetable and Melon Growing*, 57, 79–86. URL: <https://vegetables-journal.com/index.php/journal/issue/view/13/11> [In Ukrainian]
16. Rudnyk-Ivashchenko, O. I., & Smulsa, I. V. (2014). Varietal resources of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Ukraine. *Ukrainian Farmer's Guide*, 2, 56–57. [In Ukrainian]
17. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2016). *Metodyka provedennia kvalifikatsiinoi ekspertyzy sortiv roslyn na prydatnist do poshyrennia v Ukraini. Zahalna chastyna* [Methods of conducting qualification tests of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. General part] (4th ed., rev.). Vinnytsia: FOP Korzun D. Yu. [in Ukrainian]
18. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2017). *Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv roslyn hrupy tekhnichnykh ta kormovykh na prydatnist do poshyrennia v Ukraini (PSP)* [Methods of examination of plant varieties of feed and industrial group on suitability for dissemination in Ukraine]. Vinnytsya: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
19. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2016). *Metodyky provedennia kvalifikatsiinoi ekspertyzy sortiv roslyn na prydatnist do poshyrennia v Ukraini. Metody vyznachennia pokaznykiv yakosti produktsii roslynnytsva* [Methods of conducting qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. Methods of determining plant production quality indicators]. Vinnytsya: FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
20. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2023). *State register of plant varieties suitable for distribution Ukraine in 2023*. Kyiv: N. p. Retrieved from <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin> [In Ukrainian]
21. Prokopenko, K. O., & Uдова, L. O. (2017). Agriculture of Ukraine: challenges and ways of development in the conditions of climate change. *Economics and forecasting*, 1, 92–107. [In Ukrainian]
22. *Klasyfikator pokaznykiv yakosti botanichnykh taksoniv, sorty yakykh prokhodiat ekspertyzu na prydatnist do poshyrennia* [Classifier of quality indicators of botanical taxa, the varieties of which undergo examination for suitability for distribution]. (2019). Vinnytsia: FOP Korzun D. Yu. URL: <https://sops.gov.ua/uploads/page/vidanna/2019/1.pdf> [In Ukrainian]

UDC 633.854.78:631.526.32:631.559

Торчій, О. В.*, Смulska, І. В., Орленко, О. В., Хоменко, Т. М., Довбаш, Н. І., & Руденко, О. А. (2023). Characteristics of the formation of productivity of high oleic varieties of the common sunflower *Helianthus annuus* L. *Plant Varieties Studying and Protection*, 19(3), 185–194. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.19.3.2023.287643>

Ukrainian Institute of Plant Varieties Examination, 15 Henerala Rodymtseva St., Kyiv, 03041, Ukraine, *e-mail: psp.uiesr@gmail.com

Purpose. To evaluate new varieties of high oleic common sunflower (*Helianthus annuus* L.) according to the main economic and quality indicators: yield, disease resistance, oleic acid, oil and protein content. **Methods.** The qualification examination of common sunflower varieties for suitability for distribution in Ukraine (SVD) was carried out at the research stations of the Ukrainian Institute for Plant Variety Examination within the soil-climatic zones of the Steppe and Forest-Steppe in 2021–2022. The research was conducted in accordance with the “Methodology of qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine (general part)” and “Methodology of examination of plant varieties of technical and forage group for suitability for distribution in Ukraine”. **Results.** New common sunflower varieties ‘LG50475’, ‘OKLLAOMA’, ‘P64HE418’, ‘RGT CHARLOTTE CL’, ‘SY DIEGO CLP’, ‘F4987VO’, ‘N4H422 KL’, ‘LG50779 SX’, ‘SUBEO’ and ‘SY FENOMENO’, which are included in the State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine, were analyzed for varietal potential in terms of economically valuable traits such as productivity, oleic acid and oil content. In 2021–2022, the Fo-

rest-Steppe zone prevailed over the others in terms of yield indicators. The highest values among the investigated varieties were shown by ‘LG50475’ (2.61–3.99 t/ha), ‘OKLLAOMA’ (2.73–3.89 t/ha) and ‘LG50779 SH’ (2.50–3.57 t/ha). The highest content of oleic acid (quality indicator) was recorded for ‘P64HE418’ – 86.4% in the Steppe zone and 87.3% in the Forest-Steppe zone; ‘LG50475’ and ‘SY DIEGO CLP’ – 87.3% each in the Forest-Steppe zone. **Conclusions.** According to the results of the varietal suitability test, all the varieties studied are recommended for cultivation in the Steppe and Forest-Steppe zones. The maximum oil content was obtained in the seeds of the variety ‘OKLLAOMA’ (50.9% in Steppe and 52.0% in Forest-Steppe). The highest protein content was found in the seeds of ‘RGT CHARLOTTE CL’ (18.0% in the Steppe zone) and ‘P64HE418’ (15.8% in the Forest-Steppe zone). The maximum oil yield per hectare (1.78 t/ha for each of the varieties ‘OKLLAOMA’, ‘SY FENOMENO’ and ‘SUBEO’) was obtained in the Forest-Steppe zone, due to the better yield and oil content in this soil-climatic zone.

Keywords: qualification test; productivity; seed; oleic acid content; oil content; protein content; resistance to diseases.

Надійшла / Received 13.06.2023
Погоджено до друку / Accepted 11.09.2023

Influence of explant type and variety of *Linum usitatissimum* L. convar. *elongatum* on the intensity of callus formation and organogenesis *in vitro*

S. V. Mishchenko^{1,2*}, L. M. Kryvosheeva², Yu. V. Lavrynenko³, T. Yu. Marchenko³

¹Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University, 24 Kyivska St., Hlukhiv, Sumy region, 41400, Ukraine, *e-mail: serhii-mishchenko@ukr.net

²Institute of Bast Crops, NAAS of Ukraine, 45 Tereshchenkiv St., Hlukhiv, Sumy region, 41400, Ukraine

³Institute of Climate-Oriented Agriculture, NAAS of Ukraine, 24 Maiatska doroha St., Khlhodarske, Odesa district, Odesa region, 67667, Ukraine

Purpose. To determine the dependence of the intensity of callus formation and organogenesis of *Linum usitatissimum* L. convar. *elongatum* *in vitro* on explant type and variety in order to optimize the cultivation protocol. **Methods.** For induction of callus formation and organogenesis, hypocotyls, cotyledons, leaves, immature embryos and anthers of flax varieties 'Hlinum', 'Esman', 'Hladiator', 'Hlobus' and 'Charivnyi' grown on Murashige and Skoog medium were treated with 0.05 mg/l 1-naphthylacetic acid and 1.0 mg/l 6-benzylaminopurine at a photoperiod of 16 h, light intensity 2500 lux, relative humidity 60–80% and air temperature 22–24 °C. Empirical data were interpreted using arithmetic mean, error of the sample mean, coefficient of variation, least significant difference and rank order. **Results.** The intensity of callus formation and organogenesis in the analysed varieties depended on the object of study, i.e. the genotype of the variety and the type of explant. The frequency of callus formation ranged from 9.4 (anthers of variety 'Esman') to 99.4% (leaf explants of variety 'Hlinum'), the weight of callus – from 0.18 (anthers of variety 'Esman') to 3.18 g (anthers of variety 'Hlobus'), the frequency of organogenesis – from 7.4 (anthers of variety 'Esman') to 97.3% (hypocotyls of variety 'Hlinum'), number of shoots – from 0.6 (anthers of variety 'Hladiator' and immature embryos of variety 'Hlobus') to 4.0 (hypocotyls of variety 'Hlinum'), height of shoots – from 0.34 (anthers of variety 'Esman') to 1.63 cm (anthers of variety 'Hlobus'). **Conclusions.** Plants of all the varieties studied are capable of effective callus formation and organogenesis *in vitro* in the presence of phytohormones of exogenous origin. Certain types of explants (hypocotyls, cotyledons, leaves) respond stably to exogenous growth regulators that induce callus formation, whereas others, such as anthers, have a specific response that is largely determined by cultivar characteristics. To obtain diploid somaclones, it is optimal to use hypocotyls of varieties 'Hlinum' and 'Charivnyi', to obtain haploid regenerants – immature embryos and anthers of varieties 'Hlobus' and 'Hladiator', which ensures the highest reproduction rate of cultural plant objects.

Keywords: flax; growth medium, phytohormones; callus; somaclon, growth and development.

Introduction

Callus, suspension cell cultures and shoots regenerated from them are a selection basis for

obtaining plants with increased resistance to abiotic and biotic factors of the environment: salinity, drought, diseases and pests, etc. [1–3]. Regenerated plants obtained *in vitro*, compared to the original material, for example, are characterized by somaclonal variability, which in the case of positive changes can be used to create new varieties. Unwanted mutant forms can be culled already at the stage of regeneration in *in vitro* culture.

The use of calli has become widespread in many types of crops, particularly in the case of flax (*Linum usitatissimum* L.) – a traditional

Serhii Mishchenko
<https://orcid.org/0000-0002-1979-4002>
Larysa Kryvosheeva
<https://orcid.org/0000-0001-6688-6930>
Yuriy Lavrynenko
<https://orcid.org/0000-0001-9442-8793>
Tetiana Marchenko
<https://orcid.org/0000-0001-6994-3443>

agricultural crop with multiple economic uses, mainly grown to obtain natural fibre as a raw material for the textile industry (long-stalk flax), as well as seeds, food or technical oil (oilseed flax or long-stalk flax). In spite of significant successes in the selection of common flax, the problem of obtaining a new source of self-pollinated culture is permanent, which is why it is necessary to use *in vitro* technologies to solve a number of breeding tasks. Recently, the use of *in vitro* callus cultures of linseed and other species of the genus *Linum* L., obtained on the basis of stem and leaf explants, as well as cell suspension cultures for the synthesis of valuable secondary metabolites – lignans and neolignans used in medicine [4–6].

The success of using *in vitro* culture to obtain callus cultures and indirect organogenesis of common flax depends, first of all, on several components of the cultivation conditions: the type of nutrient medium [3, 7]; the presence of a carbohydrate source – sucrose, glucose, maltose, lactose or their combination [8, 9]; the phytohormonal composition of the growth medium, which induces intensive callus formation and organogenesis [10, 11]; the genetic characteristics of the breeding material, the type and size of explants [9, 12] and the characteristics of their preliminary preparation for inoculation [11, 13], etc.

The following combinations of phytohormones in the growth medium were described for effective induction of callus formation and organogenesis in common flax: the cytokinin 6-benzylaminopurine (BAP) alone; the cytokinin BAP in combination with the auxins 1-naphthylacetic acid (NAA) or indole-3-acetic acid (IAA) [11]. At the same time, optimal concentrations of BAP are within $1.0 \text{ mg/l} \leq \text{BAP} \leq 1.75 \text{ mg/l}$; optimal concentrations of BAP in the presence of 0.05 mg/l NAA – $0.5 \text{ mg/l} \leq \text{BAP} \leq 2.0 \text{ mg/l}$; optimal concentrations of NAA in the presence of 1.0 mg/l BAP – $0.025 \text{ mg/l} \leq \text{NAA} \leq 0.150 \text{ mg/l}$; optimal concentrations of IAA in the presence of 1.0 mg/l BAP are $0.05 \text{ mg/l} \leq \text{IAA} \leq 0.50 \text{ mg/l}$ [11].

It should be noted that the protocols for *in vitro* cultivation of flax are quite well developed, especially with regard to exogenous growth regulators in the composition of the growth medium, as well as types of explants that induce intensive callus formation and organogenesis. However, in the role of a biotechnological object, mainly samples of the so-called oilseed flax were used, and not the long-stalk flax, which differs significantly from the first variety in terms of morphological, physiological and genetic characteristics. In connection with the creation

of a series of innovative varieties [14] to optimise the cultivation protocol, the question of the dependence of the intensity of callus formation and organogenesis of *Linum usitatissimum* L. convar. *elongatum in vitro* depending on the type of explant and variety is relevant.

Materials and methods

The varieties of *L. usitatissimum* convar. *elongatum* cultivated by the Institute of Bast Crops of the National Academy of Agricultural Sciences of Ukraine – ‘Hlinum’, ‘Esman’, ‘Hladiator’, ‘Hlobus’ and ‘Charivnyi’ – were used for the study. Hypocotyls, cotyledons, leaves, immature embryos and anthers were used to induce callus formation and organogenesis. The first three types of explants were taken from aseptic shoots obtained from seeds *in vitro*. Immature embryos and anthers were inoculated at the stage of cell vacuolation, after preliminary cold treatment (72 h at a temperature of 6 °C) and sterilisation with an aqueous solution of sodium hypochlorite (NaOCl) at a concentration of 6%, with exposure for 12.5–15 min and washing three times with sterile distilled water.

The studied explants were cultivated in culture tubes with a diameter of 20 mm on Murashige and Skoog medium with the addition of 0.05 mg/l NAA and 1.0 mg/l BAP at a photoperiod of 16 h, light intensity of 2500 lux, relative humidity of 60–80% and temperature of 22–24 °C.

On the 35th day of cultivation, the following parameters were determined: frequency of callus formation (percentage of explants on which callus was formed), mass of callus from an explant, frequency of organogenesis (percentage of calli on which shoots have formed), number of shoots formed (excluding meristematic zones and initial shoots) and height of normally developed shoots. The number of replicates is 6, the sample is at least 30 explants for each variety. The empirical data were interpreted according to the arithmetic mean, the error of the sample mean, the coefficient of variation, the least significant difference at a significance level of 0.05 and rank order.

Results and discussion

The intensity of callus formation and somatic embryogenesis depended on the object of study, namely the variety *L. usitatissimum* convar. *elongatum* and the type of explant (Table).

The highest frequency of callus formation under the influence of the investigated growth regulators (NAA and BAP) was observed on leaf and hypocotyl explants of the variety ‘Hlinum’ (99.4 and 99.3%, respectively) and leaf explants of the variety ‘Charivnyi’ (99.3%),

the lowest manifestation of this characteristic – in the version using anthers of the variety ‘Esman’ (only 9.4%). The largest mass of callus on the 35th day of cultivation was formed in the variant with anthers of the ‘Hlobus’ variety (3.18 g), which can exceed other variants by more than 10 times, and the smallest mass of callus was formed on the anthers of the ‘Esman’ variety (0.18 g). There is a tendency for certain types of explants (hypocotyls, cotyledons, leaves) to respond more or less stably to exogenous growth regulators inducing callus formation, while others, such as anthers, show a specific genotypic response to this factor.

The frequency of organogenesis did not always depend on the intensity of callus formation and varied from 7.4 (anthers of the variety ‘Esman’) to 97.3% (hypocotyls of the variety ‘Hlinum’). The sign of the number of shoots formed from a group of undifferentiated callus cells was quite variable and varied significantly depending on the type of explant and the genotype of the variety. The largest number of regenerated plants was formed from callus formations on hypocotyl segments of the variety ‘Hlinum’ (4.0 pcs.).

The fewest shoots were formed from calli formed from anthers of the variety ‘Hladiator’ and immature seed embryos of the cultivar ‘Hlobus’ (0.6 each). The height of the shoots varied from 0.34 cm (anthers of the variety ‘Esman’) to 1.63 cm (anthers of the variety ‘Hlobus’), i.e. the differences reached five times.

The analysis of the coefficients of variation of the traits studied showed that their variability could be insignificant, medium and significant, while in most cases the determining influence was not so much the type of explant as the variety.

According to the average grouped data, the highest frequency of callus formation was observed when true leaves (81.6%), cotyledons (80.4%) and hypocotyls (79.1%) were used as explants, and the least capable of callus formation *in vitro* due to the action of NAA and BAP were anthers (40.6%). Similarly, the highest frequency of organogenesis was found on callus formations induced on leaf explants (70.6%). These indicators were quite close for the use of cotyledons, immature embryos and hypocotyls (61.7–64.3%). The lowest frequency of embryogenesis was calculated from callus formed on anthers (32.8%) (Fig. 1). The sign of

Table

Dependence of the intensity of callus formation and organogenesis on the type of explant and the variety of *L. usitatissimum* convar. *elongatum*

Type of explant	Intensity of callus formation				Intensity of organogenesis					
	Frequency of callus formation, %		Mass of callus, g		Frequency of organogenesis, %		Number of shoots, pcs.		Height of shoots, cm	
	$\bar{X} \pm s_x$	V, %	$\bar{X} \pm s_x$	V, %	$\bar{X} \pm s_x$	V, %	$\bar{X} \pm s_x$	V, %	$\bar{X} \pm s_x$	V, %
‘Hlinum’										
Hypocotyl	99.3 ± 0.67	2.1	1.67 ± 0.088	16.7	97.3 ± 1.09	3.6	4.0 ± 0.24	18.8	1.13 ± 0.037	10.3
Cotyledon	98.6 ± 0.93	3.0	1.48 ± 0.071	15.2	83.3 ± 2.68	10.2	2.8 ± 0.29	33.5	1.02 ± 0.025	7.7
Leaf	99.4 ± 0.62	2.0	1.54 ± 0.058	11.9	82.0 ± 2.24	8.6	1.7 ± 0.03	6.1	0.92 ± 0.013	4.6
Immature embryos	74.0 ± 1.20	5.1	0.78 ± 0.033	13.2	52.7 ± 4.27	25.6	1.8 ± 0.11	18.2	1.36 ± 0.056	13.1
Anther	46.7 ± 1.98	13.4	0.63 ± 0.033	16.8	33.3 ± 0.99	9.4	1.5 ± 0.13	27.2	1.02 ± 0.025	7.7
‘Esman’										
Hypocotyl	97.4 ± 1.46	4.7	1.10 ± 0.037	10.5	50.4 ± 2.01	12.6	1.4 ± 0.03	5.8	0.84 ± 0.040	15.0
Cotyledon	98.1 ± 1.35	4.4	1.24 ± 0.043	10.9	48.3 ± 1.10	7.2	1.3 ± 0.04	10.0	0.77 ± 0.021	8.8
Leaf	98.6 ± 0.93	3.0	1.44 ± 0.040	8.8	75.2 ± 1.38	5.8	1.7 ± 0.04	7.6	0.93 ± 0.063	21.5
Immature embryos	70.0 ± 3.75	16.9	0.76 ± 0.076	31.7	51.7 ± 1.93	11.8	1.4 ± 0.16	34.5	0.97 ± 0.108	35.1
Anther	9.4 ± 1.47	49.6	0.18 ± 0.036	63.1	7.4 ± 0.66	28.4	0.8 ± 0.08	32.4	0.34 ± 0.065	60.8
‘Hladiator’										
Hypocotyl	52.0 ± 1.66	10.1	0.88 ± 0.146	52.4	39.3 ± 1.85	14.8	1.2 ± 0.13	35.1	0.60 ± 0.030	15.7
Cotyledon	51.9 ± 1.66	10.1	1.00 ± 0.063	20.0	47.3 ± 5.84	39.0	1.3 ± 0.08	20.3	0.55 ± 0.027	15.4
Leaf	52.0 ± 1.33	8.1	0.74 ± 0.056	24.0	62.0 ± 1.43	7.3	1.2 ± 0.04	11.4	0.85 ± 0.045	16.9
Immature embryos	81.3 ± 2.40	9.3	1.49 ± 0.028	5.9	76.6 ± 1.12	4.6	2.5 ± 0.13	16.6	1.19 ± 0.129	27.5
Anther	22.0 ± 1.74	25.0	0.43 ± 0.021	15.7	14.6 ± 1.67	36.0	0.6 ± 0.07	34.7	0.70 ± 0.033	15.0
‘Hlobus’										
Hypocotyl	48.7 ± 1.42	9.2	0.72 ± 0.073	31.9	40.0 ± 3.58	28.3	1.1 ± 0.13	38.5	0.76 ± 0.022	9.2
Cotyledon	54.7 ± 3.42	19.8	0.88 ± 0.077	27.7	46.7 ± 3.72	25.2	1.8 ± 0.13	23.4	0.73 ± 0.045	19.4
Leaf	58.7 ± 1.66	9.0	0.81 ± 0.048	18.8	58.0 ± 1.02	5.6	1.2 ± 0.11	29.1	0.85 ± 0.027	10.0
Immature embryos	18.0 ± 1.74	30.5	0.30 ± 0.042	44.4	12.7 ± 1.84	45.9	0.6 ± 0.08	42.8	0.62 ± 0.036	18.3
Anther	84.7 ± 2.23	8.3	3.18 ± 0.118	11.7	80.7 ± 1.85	7.2	3.6 ± 0.45	39.7	1.63 ± 0.065	12.6
‘Charivnyi’										
Hypocotyl	98.0 ± 1.42	4.6	1.16 ± 0.043	11.6	94.6 ± 1.33	4.4	3.1 ± 0.06	6.6	1.03 ± 0.045	13.8
Cotyledon	98.7 ± 0.89	2.9	1.32 ± 0.055	13.3	82.7 ± 2.67	10.2	2.0 ± 0.15	24.1	0.94 ± 0.027	9.0
Leaf	99.3 ± 0.67	2.1	1.44 ± 0.037	8.2	76.0 ± 4.24	17.6	1.7 ± 0.21	39.9	0.87 ± 0.037	13.3
Immature embryos	71.4 ± 2.23	9.9	0.77 ± 0.021	8.8	50.0 ± 1.79	11.3	1.4 ± 0.14	30.9	1.06 ± 0.034	10.1
Anther	40.0 ± 1.00	7.9	0.59 ± 0.031	16.8	28.0 ± 1.66	18.7	1.2 ± 0.14	37.0	0.91 ± 0.035	12.1

the callus mass was insignificantly dependent on the type of explant, ranging from 0.82 (immature embryos) to 1.19 g (leaves). The variant with hypocotyl explants (2.2 pcs.) stood out according to the number of shoots, the least

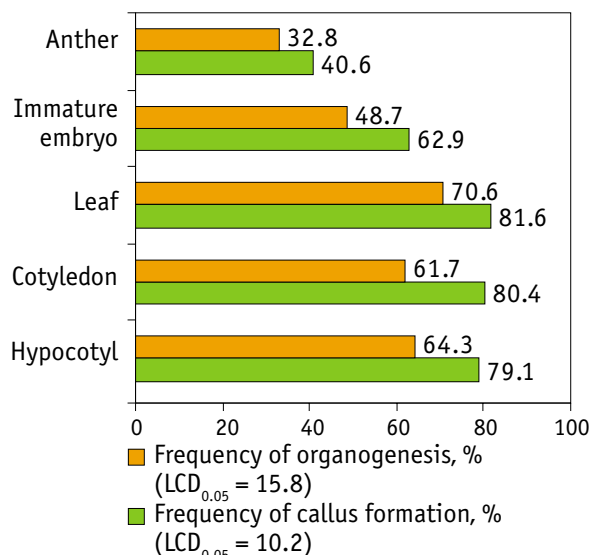


Fig. 1. Influence of explant type on the frequency of callus formation and organogenesis of *L. usitatissimum* convar. *elongatum*

In general, to obtain somaclones of *L. usitatissimum* convar. *elongatum* *in vitro* from vegetative organs or their parts (provided that 0.05 mg/l NAA and 1.0 mg/l BAP are added to the Murashige and Skoog medium), it is optimal to use hypocotyl segments and to obtain regenerants from generative organs – immature embryos and anthers, which gives the highest yield of material during their further microclonal reproduction.

All studied varieties are to a large extent capable of effective callus formation and organogenesis in *in vitro* culture in the presence of phytohormones of exogenous origin in the environment, but at the same time there are varietal differences in this ability (genotype influence), which is manifested in the features of response to phytohormonal influence (the flow of complex physiological-biochemical processes in cells and tissues), intensity of cell dedifferentiation and differentiation, growth and development of shoots, etc. In general, the highest frequency of callus formation and organogenesis was observed in varieties ‘Hlinum’ (83.6 and 69.7%) and ‘Charivnyi’ (81.5 and 66.3%), the lowest frequency of callus formation in variety ‘Hladiator’ (51.8%), organogenesis – in variety ‘Esman’ (46.6%) (Fig. 3). At the same time, the mass of the callus ranged from 1.32 g (‘Esman’) to 2.36 g (‘Hlinum’) under the given cultivation conditions. The

regenerants were formed on the callus of leaves, immature seed embryos and anthers (1.5 pcs. each). The sign of shoot height on the 35th day of cultivation varied from 0.80 (cotyledons) to 1.04 cm (immature embryos) (Fig. 2).

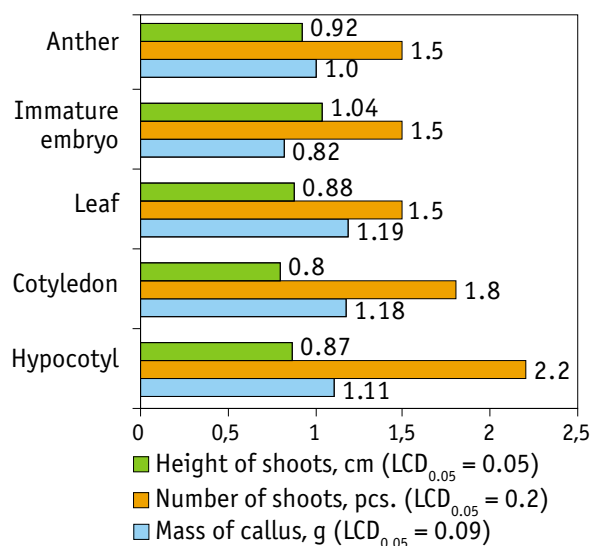


Fig. 2. Effect of explant type on the efficiency of callus formation and organogenesis of *L. usitatissimum* convar. *elongatum*

number of shoots was highly dependent on the genotype, with the variety ‘Hlinum’ (2.4 shoots) standing out for this characteristic. The lowest value for this characteristic was observed in the variety ‘Esman’ (1.3 shoots). The height of shoots ranged from 0.77 (‘Esman’) to 1.09 cm (variety ‘Hlinum’) (Fig. 4).

It should be noted that the use of all types of explants of the variety ‘Hlinum’ gave good results in obtaining calli and somaclones; anthers of the variety ‘Esman’ responded weakly to callus induction factors and somatic embryogenesis; the most intensive callus formation and organogenesis on anthers is characteristic of the variety ‘Hlobus’ and on immature embryos – of the variety ‘Hladiator’; the variety ‘Charivnyi’ did not have critical values of the investigated characteristics (minimum or maximum).

In general, to obtain diploids, it is optimal to use explants of the varieties ‘Hlinum’ and ‘Charivnyi’, and haploids – of the varieties ‘Hlobus’ and ‘Hladiator’, which will ensure the highest reproduction rate of the cultural plant objects of *L. usitatissimum* convar. *elongatum*.

Previously, significant differences in the ability of callus formation and organogenesis in *in vitro* culture due to the influence of NAA and BAP were found at the interspecies level (different *Linum* L. species) [7] and within varieties of the same *L. usitatissimum* species

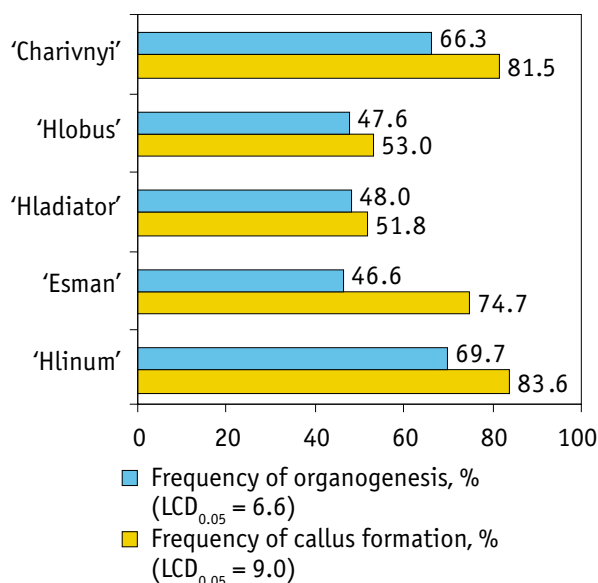


Fig. 3. Effect of variety on the frequency of callus formation and organogenesis of *L. usitatissimum* convar. *elongatum*

(*elongata*, *intermedia* and *humile* flax) [15]. The greatest ability to callus formation and organogenesis on hypocotyl and epicotyl explants under the same composition of the medium and cultivation conditions is characteristic of *elongata* flax and *humile* flax, the largest mass of callus from the explant, the number of regenerated shoots and their height is formed by *intermedia* flax, which has the largest range of variation of the studied characteristics [15]. Research on the variety 'Lirina' and others showed differences between the response of immature embryos (ovules) [16] and anthers [9] within a genotype of so-called oilseed flax. In order to overcome the dependence of callus formation and regeneration on varietal characteristics, a specific combination of phytohormones in the induction medium has to be modified and optimised for specific genotypes within a specific selection programme [9, 16, 17].

Conclusions

In the analysed varieties of *Linum usitatissimum* L. convar. *elongatum* 'Hlinum', 'Esman', 'Hladiator', 'Hlobus' and 'Charivnyi', the intensity of callus formation and embryogenesis in *in vitro* culture under the influence of phytohormones of exogenous origin (0.05 mg/l NAA and 1.0 mg/l BAP) depended on the object of study, i.e. the genotype of the variety and the type of explant. At the same time, the frequency of callus formation ranged from 9.4% (anthers of the variety 'Esman') to 99.4% (leaf explants of the variety 'Hlinum'), the callus weight from 0.18 g (anthers of the

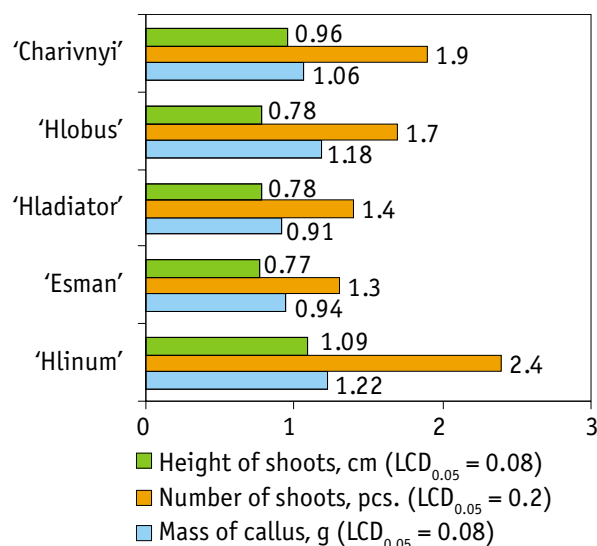


Fig. 4. Effect of variety on the efficiency of callus formation and organogenesis of *L. usitatissimum* convar. *elongatum*

variety 'Esman') to 3.18 g (anthers of the variety 'Hlobus'), the frequency of organogenesis from 7.4% (anthers of the variety 'Esman') to 97.3% (hypocotyls of the variety 'Hlinum'), number of shoots – from 0.6 (anthers of the variety 'Hladiator' and immature embryos of the variety 'Hlobus') to 4.0 (hypocotyls of the variety 'Hlinum'), height of shoots – from 0.34 cm (anthers of the variety 'Esman') to 1.63 cm (anthers of the variety 'Hlobus'). In general, to obtain diploid somaclones, it is optimal to use hypocotyls, as well as the varieties 'Hlinum' and 'Charivnyi', to obtain haploid regenerants – immature embryos and anthers, varieties 'Hlobus' and 'Hladiator', which provides the highest reproduction rate of plant objects of the studied biological species and variety.

References

- Efferth, T. (2019). Biotechnology applications of plant callus cultures. *Engineering*, 5(1), 50–59. doi: 10.1016/j.eng.2018.11.006
- Soroka, A. I. (2022). Resistance to salinity in callus culture of oil flax. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oil Crops of NAAS*, 33, 28–34. doi: 10.36710/IOC-2022-33-03 [In Ukrainian]
- Soroka, A. I. (2022). Optimization of the callus formation process in flax *in vitro*. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oil Crops of NAAS*, 32, 26–33. doi: 10.36710/IOC-2022-32-03 [In Ukrainian]
- Zahir, A., Nadeem, M., Ahmad, W., GiglioliGuivarc'h, N., Hano, C., & Abbasi, B. H. (2019). Chemogenic silver nanoparticles enhance lignans and neolignans in cell suspension cultures of *Linum usitatissimum* L. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 136(3), 589–596. doi: 10.1007/s11240-018-01539-6
- Anjum, S., Komal, A., Drouet, S., Kausar, H., Hano, C., & Abbasi, B. H. (2020). Feasible production of lignans and neolignans in root-derived *in vitro* cultures of flax (*Linum usitatissimum* L.). *Plants*, 9(4), Article 409. doi: 10.3390/plants9040409
- Asad, B., Khan, T., Gul, F. Z., Ullah, M. A., Drouet, S., Mikac, S., ... Abbasi, B. H. (2021). Scarlet flax *Linum grandiflorum* (L.) in

- in vitro* cultures as a new source of antioxidant and anti-inflammatory lignans. *Molecules*, 26(15), Article 4511. doi: 10.3390/molecules26154511
7. Mishchenko, S. V., & Kryvosheieva, L. M. (2019). Callus formation, organogenesis and microclonal reproduction in different species of the genus *Linum* L. *in vitro*. *Plant Varieties Studying and Protection*, 15(2), 124–134. doi: 10.21498/2518-1017.15.2.2019.173558
 8. Millam, S., Obert, B., & Pret'ová, A. (2005). Plant cell and biotechnology studies in *Linum usitatissimum* – a review. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 82(1), 93–103. doi: 10.1007/s11240-004-6961-6
 9. Burbulis, N., Blinstrubienė, A., Masienė, R., & Jonytienė, V. (2012). Influence of genotype, growth regulators and sucrose concentration on linseed (*Linum usitatissimum* L.) anther culture. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 10(3–4), 764–767. doi: 10.1556/ABiol.56.2005.3-4.15
 10. SetaKoselska, A., & SkórzyńskaPolít, E. (2017). Optimization of *in vitro* culture conditions for obtaining flax (*Linum usitatissimum* L. cv. Modran) cell suspension culture. *BioTechnologia*, 98(3), 183–188. doi: 10.5114/bta.2017.70796
 11. Mishchenko, S. V., & Machulskyi, H. M. (2022). Methodical aspects of increasing the intensity of callus formation and organogenesis of *Linum usitatissimum* L. *in vitro* conditions. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*, 30, 96–102. doi: 10.7124/FEE0.v30.1468 [in Ukrainian]
 12. Blinstrubienė, A., Burbulis, N., & Masienė, R. (2017). Genotypic and exogenous factors affecting linseed ovary culture. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(3), 243–248. doi: 10.13080/z-a.2017.104.031
 13. Beyaz, R., & Yildiz, M. (2019). The effect of inter-plantal competition on *in vitro* seed germination and seedling growth in flax (*Linum usitatissimum* L.). *Anadolu University Journal of Science and Technology – C Life Sciences and Biotechnology*, 8(1), 61–68. doi: 10.18036/aubtdc.427128
 14. Kryvosheieva, L. M., & Chuchvaha, V. I. (2021). Scientific achievements and priority directions of research development in the breeding and seed-growing of fiber flax in the Institute of Bast Crops NAAS. *Bast and Technical Crops*, 9, 12–20. doi: 10.48096/btc.2021.9(14).12-201 [In Ukrainian]
 15. Mishchenko, S. V., & Kryvosheieva, L. M. (2018). *In vitro* callus formation and organogenesis of different *Linum usitatissimum* L. accessions. *Plant Genetic Resources*, 23, 49–58. doi: 10.36814/pgr.2018.23.04 [In Ukrainian]
 16. Burbulis, N., & Blinstrubienė, A. (2011). Genotypic and exogenous factors affecting linseed (*Linum usitatissimum* L.) anther culture. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9(3), 364–367. doi: 10.1234/4.2011.2285
 17. Blinstrubienė, A., Burbulis, N., & Kuprienė, R. (2011). Effect of genotype and medium composition on linseed (*Linum usitatissimum*) ovary culture. *Biologia*, 66(3), 465–469. doi: 10.2478/s11756-011-0028-z
- Використана література**
1. Efferth T. Biotechnology applications of plant callus cultures. *Engineering*. 2019. Vol. 5, Iss. 1. P. 50–59. doi: 10.1016/j.eng.2018.11.006
 2. Сорока А. І. Стійкість до засолення калусних культур льону олійного. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2022. № 33. С. 28–34. doi: 10.36710/IOC-2022-33-03
 3. Сорока А. І. Оптимізація процесу калусоутворення у льону *in vitro*. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2022. № 32. С. 26–33. doi: 10.36710/IOC-2022-32-03
 4. Zahir A., Nadeem M., Ahmad W. et al. Chemogenic silver nanoparticles enhance lignans and neolignans in cell suspension cultures of *Linum usitatissimum* L. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2019. Vol. 136, Iss. 3. P. 589–596. doi: 10.1007/s11240-018-01539-6
 5. Anjum S., Komal A., Drouet S. et al. Feasible production of lignans and neolignans inroot-derived *in vitro* cultures of flax (*Linum usitatissimum* L.). *Plants*. 2020. Vol. 9, Iss. 4. Article 409. doi: 10.3390/plants9040409
 6. Asad B., Khan T., Gul F. Z. et al. Scarlet flax *Linum grandiflorum* (L.) *in vitro* cultures as a new source of antioxidant and anti-inflammatory lignans. *Molecules*. 2021. Vol. 26, Iss. 15. Article 4511. doi: 10.3390/molecules26154511
 7. Mishchenko S. V., Kryvosheieva L. M. Callus formation, organogenesis and microclonal reproduction in different species of the genus *Linum* L. *in vitro*. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2019. Vol. 15, No. 2. P. 124–134. doi: 10.21498/2518-1017.15.2.2019.173558
 8. Millam S., Obert B., Pret'ová A. Plant cell and biotechnology studies in *Linum usitatissimum* – a review. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2005. Vol. 82, Iss. 1. P. 93–103. doi: 10.1007/s11240-004-6961-6
 9. Burbulis N., Blinstrubienė A., Masienė R., Jonytienė V. Influence of genotype, growth regulators and sucrose concentration on linseed (*Linum usitatissimum* L.) anther culture. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2012. Vol. 10, Iss. 3–4. P. 764–767. doi: 10.1556/ABiol.56.2005.3-4.15
 10. SetaKoselska A., SkórzyńskaPolít E. Optimization of *in vitro* culture conditions for obtaining flax (*Linum usitatissimum* L. cv. Modran) cell suspension culture. *BioTechnologia*. 2017. Vol. 98, Iss. 3. P. 183–188. doi: 10.5114/bta.2017.70796
 11. Міщенко С. В., Мачульський Г. М. Методичні аспекти збільшення інтенсивності калюсогенезу й органогенезу *Linum usitatissimum* L. в умовах *in vitro*. Фактори експериментальної еволюції організмів. 2022. Т. 30. С. 96–102. doi: 10.7124/FEE0.v30.1468
 12. Blinstrubienė A., Burbulis N., Masienė R. Genotypic and exogenous factors affecting linseed ovary culture. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2017. Vol. 104, Iss. 3. P. 243–248. doi: 10.13080/z-a.2017.104.031
 13. Beyaz R., Yildiz M. The effect of inter-plantal competition on *in vitro* seed germination and seedling growth in flax (*Linum usitatissimum* L.). *Anadolu University Journal of Science and Technology – C Life Sciences and Biotechnology*. 2019. Vol. 8, Iss. 1. P. 61–68. doi: 10.18036/aubtdc.427128
 14. Кривошеєва Л. М., Чучвага В. І. Наукові досягнення та пріоритетні напрями розвитку досліджень в селекції і насінництві льону-довгунця в Інституті луб'яних культур НААН. *Луб'яні та технічні культури*. 2021. Вип. 9. С. 12–20. doi: 10.48096/btc.2021.9(14).12-201
 15. Міщенко С. В., Кривошеєва Л. М. Калюсогенез і органогенез в умовах *in vitro* різних зразків *Linum usitatissimum* L. Генетичні ресурси рослин. 2018. № 23. С. 49–58. doi: 10.36814/pgr.2018.23.04
 16. Burbulis N., Blinstrubienė A. Genotypic and exogenous factors affecting linseed (*Linum usitatissimum* L.) anther culture. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2011. Vol. 9, Iss. 3. P. 364–367. doi: 10.1234/4.2011.2285
 17. Blinstrubienė A., Burbulis N., Kuprienė R. Effect of genotype and medium composition on linseed (*Linum usitatissimum*) ovary culture. *Biologia*. 2011. Vol. 66, Iss. 3. P. 465–469. doi: 10.2478/s11756-011-0028-z

УДК 633.521:604

Міщенко С. В.^{1,2*}, Кривошеєва Л. М.², Лавриненко Ю. В.³, Марченко Т. Ю.³ Вплив типу експланта та сорту *Linum usitatissimum* L. convar. *elongatum* на інтенсивність калюсо- й органогенезу в умовах *in vitro*. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2023. Т. 19, № 3. С. 195–201. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.19.3.2023.287644>

¹ Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка, вул. Київська, 24, м. Глухів, Сумська обл., 41400, Україна, *e-mail: serhii-mishchenko@ukr.net

² Інститут луб'яних культур НААН України, вул. Терещенків, 45, м. Глухів, Сумська обл., 41400, Україна

³ Інститут кліматично орієнтованого сільськогосподарства НААН України, вул. Маяцька дорога, 24, смт Хлібодарське, Одеський р-н, Одеська обл., 67667, Україна

Мета. Установити залежність інтенсивності калюсо- й органогенезу *Linum usitatissimum* L. convar. *elongatum* в умовах *in vitro* від типу експланта та сорту для оптимізації протоколу культивування. **Методи.** Для індукції калюсо- й органогенезу використовували гіпокотилі, сім'ядолі, листки, незрілі зародки та пиляки сортів льону-довгунця 'Глінум', 'Есмань', 'Гладіатор', 'Глобус' і 'Чарівний', які культивували на середовищі Мурасіге і Скуга, додаючи 0,05 мг/л 1-нафтилоцтової кислоти та 1,0 мг/л 6-бензиламінопурину, за фотоперіоду 16 год, інтенсивності освітлення 2500 лк, відносної вологості 60–80% і температури повітря 22–24 °С. Емпіричні дані інтерпретували за середнім арифметичним, похибкою вибіркової середньої, коефіцієнтом варіації, найменшою істотною різницею та ранжували. **Результати.** Інтенсивність калюсогенезу та органогенезу у проаналізованих сортів залежала від об'єкта дослідження. Водночас частота калюсогенезу варіювалася від 9,4 (пиляки сорту 'Есмань') до 99,4% (листочкові експланти сорту 'Глінум'), маса калюсу – від 0,18 (пиляки сорту 'Есмань') до 3,18 г (пиляки сорту 'Глобус'),

частота органогенезу – від 7,4 (пиляки сорту 'Есмань') до 97,3% (гіпокотилі сорту 'Глінум'), кількість пагонів – від 0,6 (пиляки сорту 'Гладіатор' і незрілі зародки сорту 'Глобус') до 4,0 шт. (гіпокотилі сорту 'Глінум'), висота пагонів – від 0,34 (пиляки сорту 'Есмань') до 1,63 см (пиляки сорту 'Глобус'). **Висновки.** Рослини всіх досліджених сортів здатні до ефективного калюсо- й органогенезу в культурі *in vitro* за наявності в середовищі фітогормонів екзогенного походження. Певні типи експлантів (гіпокотилі, сім'ядолі, листки) стабільно реагують на екзогенні регулятори росту, що індукують калюсогенез, а інші, як от пиляки, мають специфічну реакцію, що значною мірою детермінується особливостями сорту. Для отримання диплоїдних соматоклонів оптимальним є використання гіпокотилів сортів 'Глінум' і 'Чарівний', для отримання гаплоїдних регенерантів – незрілих зародків та пиляків сортів 'Глобус' і 'Гладіатор', що забезпечує найвищий коефіцієнт розмноження культуральних рослинних об'єктів.

Ключові слова: льон звичайний; живильне середовище; фітогормони; калюс; соматоклон; ріст і розвиток.

Надійшла / Received 14.08.2023
Погоджено до друку / Accepted 21.09.2023

