

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ДЬОМІН Дмитро Геннадійович

УДК [620.925:58]:631.5:631.95

**ДИСЕРТАЦІЯ
АГРОЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИРОЩУВАННЯ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОСІРОВИНИ**

201 – Агрономія

20 – Аграрні науки і продовольство

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.


_____ Д. Г. Дьомін

Науковий керівник: **Кулик Максим Іванович**
доктор сільськогосподарських наук, професор

АНОТАЦІЯ

Дьомін Д. Г. Агроекологічне обґрунтування вирощування енергетичних культур для виробництва біосировини. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 «Агрономія» (галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»). – Полтавський державний аграрний університет Міністерства освіти і науки України, Полтава, 2024.

У дисертаційній роботі обґрунтовано теоретичні положення та запропоновано практичні рекомендації щодо удосконалення агротехнології вирощування енергетичних культур задля отримання біосировини – біомаси для виготовлення біопалив та продуктів з доданою вартістю.

На даний час, актуальною проблемою є створення ефективних та екологічно-безпечних агротехнологій вирощування енергетичних культур, зокрема малопоширених, як одного з найбільш перспективних джерел біосировини: як для виробництва біопалив, так і продуктів із доданою вартістю. У зв'язку з чим, для підвищення ефективності виробництва біомаси та отримання максимальної продуктивності енергокультур необхідно раціонально використовувати земельні угіддя, особливо маргінальні землі. При цьому, рекультивация таких земель є частиною проблеми раціонального використання природних ресурсів та охорони навколишнього середовища. Таким чином, питання відновлення порушених земель в Україні та отримання рослинної сировини для виробництва біопалив є досить актуальним і потребує подальшого вивчення. У зв'язку з чим, було вивчено ефективність вирощування традиційних та малопоширених енергетичних культур протягом 2018-2023 років на маргінальних землях Лісостепу та Степу України.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому що *вперше*, в умовах України, вивчено особливості росту й розвитку, закономірності формування продуктивності рослин малопоширених енергетичних культур (сорговник поникаючий, біг-блуестем та сорго багаторічне) за різних

агрозаходів.

Удосконалено агротехнологію вирощування сорго багаторічного завдяки застосування допосівної обробки насінневого матеріалу та застосування підживлення, що позначилось на збільшенні врожайності біомаси.

Набули подальшого розвитку питання вивчення особливостей ростових процесів рослин енергетичних культур, методичні підходи до визначення біоенергетичної та економічної ефективності їх вирощування.

За результатами багаторічних досліджень удосконалено основні складові управління енергетичними посівами: світчграсу, сорго багаторічного, Біг-блуестему, індіанграсу. Що здійснено на основі удосконалення елементів технології вирощування енергетичних культур. За результатами вивчення ***впливу умов вирощування на мінливість біометричних показників, продуктивності та якості енергетичних культур*** встановлено, що урожайність біомаси за досліджуваними культурами, у середньому за роки, варіювала: від 8,2 до 12,3 т/га (умови Степу), від 9,0 до 12,7 т/га (умови Лісостепу). При цьому відмічена динаміка щорічного збільшення врожаю (від першого по четвертий вегетаційний рік) по усім культурам незалежно від умов вирощування. Якість біомаси енергетичних культур залежно від умов вирощування не має значних змін.

За результатами проведення визначення ***впливу сумісного вирощування у фітоценозі на врожайність біомаси енергетичних культур в різних умовах*** встановлено, що сумісне вирощування енергетичних культур дозволяє оптимізувати структуру фітоценозу і найбільш доцільно використати площу. Це сприяє рівномірному розподілу рослин у відсотковому складі, інтенсивнішому росту й розвитку енергетичних культур, затіненню й витісненню ними бур'янів.

Визначено, що одновидові посіви енергетичних культур займали 100 % склад, тоді як у сумісних посівах відмічалось варіювання за даним показником – від 43,7 до 55,7 % (Степ) та від 44,0 до 56,0 % (Лісостеп) у залежності від

складу травосумішки. Цю закономірність пов'язуємо із природньою конкуренцією рослин за світло та поживні речовини при розміщенні їх сумісно на одній площі. Оптимізація видового складу у сумісних посівах енергетичних культур також впливає на збільшення врожайності біомаси рослинних компонентів енергокультур в розрізі умов Степу і Лісостепу України. Найбільшу врожайність біомаси за сухою речовиною в умовах Степу забезпечили варіанти сумісного вирощування Sw+Ig – на рівні 13,7 т/га (прибавка 0,7 т/га) та Sw+Bb – 13,4 т/га (прибавка 0,3 т/га). На рівні стандарту (в межах НІР₀₅) врожайність за сухою масою була на варіантах: Sw+Sa – 12,3 т/га.

Для Лісостепу найбільша врожайність біомаси була на варіантах сумісного вирощування Sw+Ig – на рівні 10,7 т/га (прибавка 0,5 т/га) та одновидового вирощування Sw – 10,2 т/га. На рівні стандарту (в межах НІР₀₅) врожайність за сухою масою була на інших варіантах. У сумісних посівах найбільш урожайним виявилось поєднання проса прутіподібного та індіанграсу на варіантах підживлення посівів 11,0 т/га (прибавка 0,3 т/га).

За результатами визначення *впливу препарату «Агростимулін» на формування продуктивності біомаси сорго багаторічного* визначено що тривалість міжфазних періодів цієї енергокультури залежала як від сортових властивостей, так і від застосування препарату. Встановлено, що вегетаційний період для сорго багаторічного сорту Колумбо становив 132–140,7 діб, та 116,7–122,6 діб – для сорту Парана. За результатами спостережень встановлено, що рослини сорго багаторічного, за роки вирощування, можуть досягати до 3–3,5 метрів висоти. Найбільш інтенсивний приріст рослин відбувається у літні місяці (у липні). Обґрунтовано, що застосування препарату «Агростимуліну» для допосівної підготовки насіння дозволяє скоротити тривалість початкових етапів росту та розвитку рослин. Це дозволяє контролювати рівень забур'яненості посіві сорго багаторічного, що створює сприятливі умови для росту і розвитку рослин сорго.

За роки дослідження з-поміж варіантів поставлених на вивчення, найбільший вплив на врожайність зеленої маси та вихід сухої речовини сорго багаторічного має допосівна обробка насіння та позакореневе підживлення посівів препаратом «Агростимулін». Для сорту Коломбо отримали збільшення врожайності до 45,2 т/га зеленої маси і 12,1 т/га сухої речовини, а у сорту Парана – на рівні 38,1 т/га зеленої маси і 10,7 т/га сухої речовини.

Визначено енергетичну ефективність сумісного вирощування енергетичних культур, в порівнянні з одновидовими посівами. Цей агрозахід збільшує кількість енергії, отриманої з одного га для Степу:

- світчграсу і сорговника поникаючого – 198,1 ГДж/га (K_{ce} 3,2),
- світчграсу та біг-блуестему – 191,8 ГДж/га (K_{ce} 3,3),
- біг-блуестему та сорговника поникаючого – 143,1 ГДж/га (K_{ce} 2,9).

Сумісне вирощування енергокультур збільшує кількість енергії, що отримана з одного га і для Лісостепу:

- світчграсу і сорговника поникаючого – 163,0 ГДж/га (K_{ce} 2,9),
- світчграсу та біг-блуестему – 130,5 ГДж/га (K_{ce} 2,7),
- біг-блуестему та сорговника поникаючого – 93,8 ГДж/га (K_{ce} 2,3).

На інших варіантах досліду, за сумісного вирощування енергетичних культур, отримана енергопродуктивність на рівні контролю.

Обґрунтовано, що ефективність виробництва біомаси енергетичних культур, яка реалізована за оптимізації та екологізації елементів технології вирощування відкриває нові пріоритетні можливості для виробництва біосировини та виробництва з неї енергоємної біомаси та продуктів із доданою вартістю.

З метою ефективного вирощування енергетичних культур для отримання стабільно високого урожаю біомаси, виробництва твердого біопалива й продуктів з доданою вартістю в умовах України рекомендуємо:

- розміщувати в сумісних посівах світчграс й біг-блуестем, світчграсу й сорговник поникаючий, що дозволить отримувати збільшену врожайність за сухою біомасою – до 10,7-13,7 т/га.

- для отримання найбільшої кількості енергії з одиниці площі на маргінальних землях проводити сумісне вирощування світчграсу й сорговника поникаючого для умов Лісотепу (163,0 ГДж/га) та світчграсу й біг-блуестему (191,8 ГДж/га) для умов Степу.

- за вирощування сорго багаторічного, з метою отримання збільшеного виходу біомаси застосовувати допосівну обробку насіння та позакореневе підживлення посівів препаратом «Агростимулін». При цьому збільшення врожайності для сорту Коломбо становитиме 45,2 т/га зеленої маси і 12,1 т/га сухої речовини, для сорту Парана (38,1 т/га зеленої маси і 10,7 т/га сухої речовини).

***Ключові слова:** енергетичні культури, інтродукція, агроєкосистеми, сумісні посіви, технологія вирощування, біометричні показники, посівні якості, продуктивність, урожайність, біомаса, ефективність.*

ABSTRACT

D'omin D.H. Agroecological substantiation of energy crops cultivation for the production of biological raw materials. Qualifying scientific paper, manuscript copyright.

The dissertation for the degree of Doctor of Philosophy by the speciality 201 “Agronomy” (branch of knowledge 20 “Agrarian sciences and food”). – Poltava State Agrarian University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Poltava, 2024.

The dissertation justifies theoretical provisions and offers practical recommendations for improving agrotechnology of energy crops cultivation in order to obtain bio raw materials - biomass for the production of biofuels and value-added products.

The development of efficient and environmentally friendly agricultural technologies for growing energy crops, including less common ones, as one of the most promising sources of biological raw materials for both biofuels and high value-added products, is currently an important issue. In this regard, in order to increase

the efficiency of biomass production and maximise the productivity of energy crops, it is necessary to use land resources, especially low-productive land, rationally.

However, reclamation of such lands is part of the problem of rational use of natural resources and environmental protection. Thus, the issue of restoring disturbed lands in Ukraine and obtaining plant material for biofuel production is quite relevant and requires further study. In this regard, the efficiency of growing traditional and less common energy crops on low-productive land of the Forest-Steppe and Steppe of Ukraine during the period of 2018-2023 was investigated.

The scientific novelty of the obtained results lies in the fact that for *the first time* in Ukraine, the peculiarities of growth and development, patterns of formation of plant productivity of less common energy crops (indiangrass, big bluestem and perennial sorghum) under different agricultural practices of their cultivation were studied.

The agrotechnology of growing perennial sorghum *was improved* by applying pre-sowing seed treatment and fertilisation, which increased biomass yields.

The study on the peculiarities of growth processes of energy crops and methodological approaches to determining the bioenergy and economic efficiency of their cultivation *was further developed*.

The main components of management of energy crops such as switchgrass, perennial sorghum, big bluestem and indiangrass were improved based on the results of long-term research. This was done by improving the elements of energy crops cultivation technology. The results of the study of **the influence of growing conditions on the variability of biometric indicators, productivity and quality of energy crops** proved that the biomass yield of the studied crops varied on average over the years from 8.2 to 12.3 t/ha (Steppe conditions), from 9.0 to 12.7 t/ha (Forest-Steppe conditions). The biomass of energy crops remains in the minds of growth and does not cause significant changes.

The dynamics of annual yield increase (from the first to the fourth vegetation year) for all crops regardless of growing conditions was noted.

Based on the results of determining the **influence of joint cultivation in the phytocoenosis on the yield of energy crop biomass under different conditions**, it was found that joint cultivation of energy crops allows optimising the structure of the phytocoenosis and making the most appropriate use of the area.

This contributes to a uniform distribution of plants in the percentage composition, more intensive growth and development of energy crops, shading and displacement of weeds.

It was determined that single-species energy crops occupied 100 % of the composition, while in mixed crops there was a fluctuation of this indicator - from 43.7 to 55.7 % (Steppe) and from 44.0 to 56.0 % (Forest-Steppe), depending on the composition of the grass mixture. We explain this pattern by the natural competition of plants for light and nutrients when they are placed together on the same area. The optimisation of species composition in joint crops of energy crops also affects the increase in biomass yield of plant components of energy crops in the Steppe and Forest-Steppe of Ukraine. The highest biomass yield in terms of dry matter in the Steppe was provided by the variants of joint cultivation of Sw+Ig - at the level of 13.7 t/ha (an increase of 0.7 t/ha) and Sw+Bb - 13.4 t/ha (an increase of 0.3 t/ha. At the level of the standard (within LSD_{05}), the yield by dry weight was in the other variants..

For the Forest-Steppe, the highest biomass yield was in the variants of joint cultivation Sw+Ig – at the level of 12.3 t/ha (an increase of 0.5 t/ha) and a single-species cultivation Sw –10.0 t/ha. The dry weight yield was at the level of the standard (within LSD_{05}) in the other variants. In of joint cultivation, the highest yields were found to be similar to millet and Indiangrass in the variants of advanced sowing of 11.0 t/ha (an increase of 0.3 t/ha).

The results of **determining the influence of the preparation “Agrostymulin” on the formation of biomass productivity of perennial sorghum** showed that the duration of the interphase periods of this crop depended on both varietal properties and the preparation use. It was found that the vegetation period for the perennial sorghum of variety Columbo was 132-140.7 days, and

116.70-122.6 days for the variety Parana. According to the observation results, it was found that perennial sorghum plants can reach up to 3-3.5 meters in height during the years of cultivation. The most intensive plant growth is in the summer months (in July). It was proved that the use of “Agrostymulin” for pre-sowing seed treatment allows to reduce the duration of the initial stages of plant growth and development. This controls the level of weed infestation of perennial sorghum crops, which creates favourable conditions for the growth and development of sorghum plants.

Over the research years, among the studied variants, pre-sowing seed treatment and foliar fertilising of crops with “Agrostymulin” have the greatest impact on the yield of green mass and dry matter yield of perennial sorghum. The yield of the Columbo variety increased to 45.2 t/ha of green mass and 12.1 t/ha of dry matter, and the yield of the Parana variety increased to 38.1 t/ha of green mass and 10.7 t/ha of dry matter.

The energy efficiency of the joint cultivation of energy crops in comparison with single-species crops was determined. This agricultural measure increases the amount of energy obtained from one hectare for Step:

- switchgrass and indiagrass – 186.1 GJ/ha (K_{ee} 3.2),
- switchgrass and big bluestem – 191.8 GJ/ha (K_{ee} 3.3),
- big bluestem and indiagrass – 143.1 GJ/ha (K_{ee} 2.9).

This agricultural measure increases the amount of energy obtained from one hectare for ForestStep:

- switchgrass and indiagrass – 163.0 GJ/ha (K_{ee} 3.2),
- switchgrass and big bluestem – 130.5 GJ/ha (K_{ee} 2.7),
- big bluestem and indiagrass – 93.8 GJ/ha (K_{ee} 2.3).

In other variants of the experiment, with joint cultivation of energy crops, energy productivity was obtained at the level of control

It was substantiated that the efficiency of energy crops biomass production, which is achieved by optimising and greening the elements of cultivation

technology, creates new priority opportunities for the production of biological raw materials and obtaining energy-intensive biomass and value-added products from it.

For the effective cultivation of energy crops in order to obtain consistently high yields of biomass, solid biofuels and value-added products in Ukraine, we recommend:

- to place switchgrass and big bluestem, switchgrass and indiangrass in joint crops, which will increase the yield of dry biomass up to 10.7-13.7 t/ha.

- to cultivate switchgrass and indiangrass (163.0 GJ/ha) for the minds ForesStep and switchgrass and big bluestem (191.8 GJ/ha) for the minds Step together in order to obtain the highest amount of energy per unit area on low productive lands.

- to apply pre-sowing seed treatment and foliar fertilising of crops with “Agrostymulin” in the cultivation of perennial sorghum, in order to obtain an increased biomass yield. Thus, the yield increase for the Columbo variety will be 45.2 t/ha of green mass and 12.1 t/ha of dry matter, for the Parana variety (38.1 t/ha of green mass and 10.7 t/ha of dry matter).

Keywords: *energy crops, introduction, agroecosystems, joint crops, cultivation technology, biometric indicators, sowing qualities, productivity, yield, biomass, efficiency.*

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у фахових виданнях України:

1. Рожко І. І., Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Вплив біометричних показників рослин на врожайність біомаси інтродукованих малопоширених енергетичних культур. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. Вип. 2, С. 114–123. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.14> (60 % авторства, проведення досліджень, отримання експериментальних даних, аналіз та узагальнення, написання статті).

2. Дьомін Д. Г., Кулик М. І., Михно Ю. В. Реалізація потенціалу насінневої продуктивності сорго багаторічного при застосуванні препарату «Агростимулін». *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. Вип. 4. С. 13–23. doi: 10.31210/visnyk2021.04.01 (60 % авторства, проведення досліджень, отримання експериментальних даних, аналіз та узагальнення, написання статті).

3. Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Урожайність та енергопродуктивність енергетичних культур за сумісного вирощування у фітоценозі. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. № 26 (1). С. 18–23. doi: 10.31210/spi2023.26.01.03 (80 % авторства, проведення досліджень, отримання експериментальних даних, аналіз та узагальнення, написання статті).

Монографії (розділ у колективній монографії):

1. Дьомін Д. Г. Вплив елементів технології вирощування на врожайність малопоширених енергетичних культур. *Енергетичні культури : сортимент, біологія, екологія, агротехнологія: колективна монографія / за ред. док. с.-г. наук., проф. М. І. Кулика*. Полтава: “Астроя”, 2023. С. 171–217. (одноосібний розділ монографії).

Матеріали, що додатково відображають результати дисертації

Монографії (розділи у колективних монографіях):

1. Kulyk Maksym, Dekovets Vitaly, Rozhko Iлона, Demin Dmitry, Onoprienko Alexander. The role of innovations in the development and management during the optimization of cultivation technologies of industrial crops in the post-

coronavirus world. *The role of information and technology in the construction of the post-coronavirus world* : Monograph / Edited by Magdalena Gawron-Łapuszek, Andrii Karpenko. Katowicach (Polska): Publishing House of Katowice School of Technology, 2020: 173–185. ISBN 978-83-957298-5-0 (60 % авторства, проведення досліджень, отримання експериментальних даних, аналіз та узагальнення, написання публікації).

2. D’omin Dmytro, Kulyk Maksym, Rozhko Ilona. Agroecological fundamentals of creation of artificial phytocenoses of energy crops for recultivation. *Innovative Approaches to Ensuring the Quality of Education, Scientific Research and Technological Processes: Series of monographs 43* Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied Arts Katowice School of Technology / Edited by Magdalena Gawron-Łapuszek Yana Suchukova. Publishing House of University of Technology, Katowice, 2021 : 1035–1041. ISBN 978–83–957298–6–7 URI: <https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/10363> (60 % авторства, проведення досліджень, отримання експериментальних даних, аналіз та узагальнення, написання публікації).

3. Kulyk Maksym, D’omin Dmytro, Rozhko Ilona. Reclamation of marginal lands using rare energy crops. *European vector of development of the modern scientific researches: collective monograph* / edited by authors. 2nd ed. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2021: 136–157. ISBN: 978-9934-26-077-3 DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-077-3-27> (60 % авторства, проведення досліджень, отримання експериментальних даних, аналіз та узагальнення, написання публікації).

4. Дьомін Д. Г., Кулик М. І., Рожко І. І. Особливості біології та аспекти вирощування малопоширених енергетичних культур в Україні та світі. *Екологоорієнтовані підходи відновлення техногенно забруднених територій і створення сталих екосистем* : колективна монографія ; за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава : Видавництво ПП «Астроя», 2022. С. 176-185. URI: <https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/12029> (60 % авторства,

проведення досліджень, отримання експериментальних даних, аналіз та узагальнення, написання публікації).

5. Kulyk, M. I., Taranenko, A. O., D'omin, D. G., & Rozhko, I. I. (2022). Agroecological aspects of rare energy crops growing in order to produce sustainable plant biomass. *Development trends of the world agriculture in the XXIst century: the view of the modern scientific community : Scientific monograph*. Riga, Latvia: “Baltija Publishing ”, 2022: 132–160. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-203-6-6> (60 % авторства, проведення досліджень, отримання експериментальних даних, аналіз та узагальнення, написання публікації).

Патент на корисну модель:

1. Кулик Максим Іванович, Дьомін Дмитро Геннадійович. Спосіб вирощування проса прутоподібного (світчграсу) з конюшиною червоною: пат. № 141973; № заявки u2019 08823; заявл. 22.07.2019, опублік. 12.05.2020, Бюл. № 9. (50 % авторства).

Матеріали наукових конференцій:

1. Веселовський М. В., Дьомін Д. Г., Кулик М. І., Урожайність насіння сорго багаторічного залежно від елементів еколого-адаптованої технології вирощування. *Перші Сазановські читання: матеріали Всеукр. наук.-практич. конференції*, присвяченій 100-річчю заснування Полтавської ДАА (27 листопада 2020 р.), м. Полтава: ПДАА, 2020. С. 60–64.

2. Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Перспективні малопоширені енергетичні культури для отримання біологічної сировини та рекультивациі ґрунтів. *Організація діяльності в агропромисловому комплексі та актуальні питання ветеринарії: матеріали I міжнародної спеціалізованої наукової конференції*, (5 березня, 2021 р.) м. Хмельницький, 2021. С. 7–9.

2. Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Формування насінневої продуктивності малопоширених енергетичних культур. *Хімія, Біотехнологія, Екологія та Освіта: Збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції* (м. Полтава, 20–21 травня 2021 року). Полтава, 2021. С. 154–157.

3. Дьомін Д. Г., Щербак Є. Ю., Кулик М. І. Потенціал біомаси малопоширених енергетичних культур. *Сучасні напрями та досягнення селекції і насінництва сільськогосподарських культур: матеріали науково-практичної інтернет-конференції* / Ред.кол.: В. М. Тищенко (відп. ред.) та ін. Полтавська державна аграрна академія, 2021. С. 43–47.

4. Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Рівень врожайності біомаси у різновидових посівах малопоширених енергетичних культур. *Перспективи виробництва біосировини енергетичних культур на рекультивованих землях: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*. (23–24 червня 2022 р.). Дніпро : ДДАЕУ, 2022. С. 70–73.

5. Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Переваги використання біомаси малопоширених енергетичних культур. *Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку: збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції*. (Полтава, 27 травня 2022). Полтава: ПДАУ, 2022. С. 54–56.

6. Дьомін Д. Г., Дековець В. О., Кулик М. І. Енергетичні культури: перспективні напрями використання біомаси. *Лікарське рослинництво: від досвіду минулого до новітніх технологій: матеріали X міжнародної науково-практичної конференції*. (Полтава, 21–22 листопада 2022 р.). Полтава: Полтавський державний аграрний університет, 2022. С. 63–64.

7. Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Екологічні чинники та потенціал біомаси за вирощування малопоширених енергетичних культур. *Хімія, Біотехнологія, Екологія та Освіта: Збірник матеріалів VII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції* (м. Полтава, 17-18 травня 2023 року). Полтава, 2023. С. 313–314.

8. Дьомін Д. Г., Чечотка К. О. Сумісні посіви продовольчих і енергетичних культур. *Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва* [Електронний ресурс] : матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф., 29–30 листопада 2022 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. – Електрон. дані. Харків, 2023. С. 67–69.

ЗМІСТ

Анотація	2
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	11
ВСТУП	17
РОЗДІЛ 1. БОТАНІКО-БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ, АГРОЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА АГРОТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР, ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА БІОСИРОВИНИ (огляд літератури)	23
1.1. Загальна характеристика енергетичних культур, та особливості використання їх біомаси	23
1.2. Ботаніко-біологічні особливості, аспекти вирощування та потенціал урожайності енергетичних культур	29
1.2.1. Ботаніко-біологічні особливості та аспекти вирощування проса прутоподібного	29
1.2.2. Ботаніко-біологічні особливості та аспекти вирощування сорговника поникаючого	32
1.2.3. Ботаніко-біологічні особливості та аспекти вирощування біг блуестему	40
1.2.4. Ботаніко-біологічні особливості та аспекти вирощування сорго багаторічного	44
1.3. Обґрунтування агроекологічних особливостей технології вирощування енергетичних культур	48
1.4. Особливості виробництва біопалива та продуктів із доданою вартістю із біомаси енергетичних культур	54
Висновки до розділу 1	64
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	66
2.1. Ґрунтово-кліматичні умови	66
2.2. Програма та методика проведення досліджень	74
2.3. Характеристика препаратів застосовуваних в досліджах	82
2.4. Характеристика сортів енергетичних культур	84
Висновки до розділу 2	86
РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ НА АДАПТИВНІСТЬ, МІНЛИВІСТЬ БІОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОСЛИН, ВРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ БІОМАСИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР	87
3.1. Адаптивні властивості енергетичних культур	87
3.2. Формування біометричних показників енергетичних культур	93
3.3. Рівень врожайності біомаси енергетичних культур	95
3.4. Якість біомаси енергетичних культур	100
Висновки до розділу 3	103

РОЗДІЛ 4. ВПЛИВ СПОСОБІВ ВИРОЩУВАННЯ У ФІТОЦЕНОЗІ НА ВРОЖАЙНІСТЬ БІОМАСИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР В РІЗНИХ УМОВАХ	105
4.1. Формування врожайності енергетичних культур залежно від способу вирощування в умовах Степу	105
4.2. Формування врожайності енергетичних культур залежно від способу вирощування в умовах Лісостепу	108
4.3. Вплив підживлення на формування врожайності енергетичних культур у сумісних посівах	113
Висновки до розділу 4	118
РОЗДІЛ 5. АГРОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СОРГО БАГАТОРІЧНОГО ПРИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ	120
5.1. Тривалість міжфазних періодів сортів сорго багаторічного сорго багаторічного залежно від застосування препарату Агростимулін	120
5.2. Формування біометричних показників рослин сорго багаторічного залежно від застосування препарату	123
5.3. Вплив елементів технології вирощування на врожайність насіння сорго багаторічного	127
5.4. Вплив елементів технології вирощування на врожайність н біомаси сорго багаторічного	132
Висновки до розділу 5	139
РОЗДІЛ 6. ЕНЕРГЕТИЧНА ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА БІОМАСИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР ЗАЛЕЖНО ВІД УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ	141
6.1. Економічна ефективність виробництва біомаси енергетичних культур залежно від удосконалення елементів технології вирощування	141
6.2. Енергетична ефективність виробництва біомаси енергетичних культур залежно від удосконалення елементів технології вирощування	148
Висновки до розділу 6	159
ВИСНОВКИ	158
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	162
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	163
Додатки	

ВСТУП

Обґрунтування теми дослідження. В Україні, для забезпечення високих показників економічної ефективності сільського господарства, поряд із продовольчою безпекою, не менш важливим напрямком є розвиток енергетичного сектору. Це потребує всебічного, глибокого вивчення та впровадження у виробництво рослинного енергетичного ресурсу, з-поміж якого сировина енергетичних культур є найбільш доступною. Окрім цього, енергокультури володіють високою адаптивністю до умов вирощування, здатні щорічно формувати значний обсяг біомаси та забезпечувати споживачів якісною сировиною для виробництва біопалив та продуктів з доданою вартістю (біопластмаси, картон, папір та ін.)

Актуальним питанням на сьогодні є вивчення шляхів збільшення врожайності біомаси енергетичних культур за їх вирощування на деградованих ґрунтах, так званих «маргінальних землях». Що передбачає розробку агрономічно-обґрунтованого менеджменту їх вирощування й послідуною переробки надземної фітомаси. З-поміж енергокультур найбільш адаптованими до умов вирощування й високопродуктивними є представники родини тонконогових (*Poaceae*). До таких рослин належать: просо прутоподібне (*Panicum virgatum L.*), Індіанграс, або сорговник поникаючий (*Sorghastrum nutans (L.) Nash*), біг-блуестем, або бородач Жерарді (*Andropogon Gerardi Vitman*), сорго багаторічне, або трава Колумба (*Sorghum almum Parodi.*). Саме у вивченні потенціалу продуктивності надземної фітомаси цих енергокультур ми вбачаємо перспективу для отримання найбільшої віддачі енергії, що накопичили ці агроценози. Поряд з цим, вивчення шляхів збільшення насінневої врожайності сорго багаторічного має актуальне значення в плані забезпечення достатньою кількістю насінневого матеріалу нових енергопосівів.

Тому, поглиблене вивчення агробіологічних особливостей та удосконалення елементів технологій вирощування представники багаторічних

рослин з родини *Poaceae*, як високопродуктивних за біомасою енергетичних культур в умовах північного Степу й центрального Лісостепу України є актуальною науковою проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до наукових тем кафедри селекції насадництва та генетики Полтавського державного аграрного університету, наукової теми зареєстрованої в УкрНТІ «Агроекологічне обґрунтування вирощування енергетичних культур для виробництва біосировини», державний реєстраційний номер 0121U108281 на період 2021–2025 рр.

Мета і завдання дослідження. *Мета роботи* – провести агроекологічну оцінку багаторічних рослин з родини *Poaceae* та визначити умови формування високої продуктивності для удосконалення елементів технології вирощування енергетичних культур в якості біопаливної сировини.

Для реалізації зазначеної мети передбачається виконання таких *завдань*:

- встановити адаптивні властивості рослин та тривалість вегетаційного періоду енергетичних культур залежно від умов вирощування: Степу і Лісостепу;
- визначити мінливість біометричних показників рослин енергетичних культур залежно від умов вирощування Степу і Лісостепу;
- визначити врожайність біомаси одновидових посівів енергетичних культур залежно від умов вирощування Степу і Лісостепу;
- встановити особливості формування врожайності енергетичних культур залежно від способу вирощування в умовах Степу й Лісостепу;
- визначити вплив весняного підживлення у різновидових посівах енергетичних культур на врожайність та вихід біомаси в умовах Лісостепу;
- обґрунтувати агроекологічні особливості формування елементів продуктивності сорго багаторічного;
- встановити вплив удосконалення елементів технології вирощування сорго багаторічного на врожайність насіння та біомаси;

– на підставі відповідних методик розрахувати економічну та енергетичну ефективність виробництва біомаси енергетичних культур у розрізі двох регіонів культивування й залежно від удосконалення елементів технології вирощування.

Об'єкт дослідження: представники багаторічних енергетичних культур з родини *Poaceae*: просо прутоподібне (*Panicum virgatum L.*), сорговник поникаючий, індіанграс (*Sorghastrum nutans L. Nash*), Біг-блуестем (*Andropogon Gerardi Vitman*), Сорго багаторічне (*Sorghum almum Parodi.*), агроценози енергетичних культур.

Предмет вивчення: закономірності впливу агроекологічних умов на рослини енергетичних культур з урахуванням їх адаптивних властивостей, особливостей росту й розвитку рослин в онтогенезі, формування продуктивності й виходу біомаси залежно від агрозаходів вирощування.

Методи дослідження. Під час закладки й проведення багаторічного експерименту було застосовано загальнонаукові методи: аналізу, синтезу, узагальнення та ін. Поряд з якими використали й спеціальні: польові – для вивчення біологічних і екологічних особливостей енергетичних культур; лабораторні – для визначення біометричних показників рослин, вмісту вологи, сухої речовини, зольності, лігніну, геміцелюлози та целюлози в біомасі енергетичних культур.

Для підтвердження достовірної різниці між варіантами досліду та встановлення взаємозв'язків між кількісними показниками рослин було використано математико-статистичні методи оцінки результатів досліджень: дисперсійний, кореляційний та регресійний аналізи.

Наукова новизна отриманих результатів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому що *вперше*, в умовах України, вивчено особливості росту й розвитку, закономірності формування продуктивності рослинами малопоширених енергетичних культур (сорговник поникаючий, біг-блуестем та сорго багаторічне) за різних умов та аграрних прийомів їх вирощування. Окрім цього визначено показники

якості біомаси, як рослинної сировини для виробництва біопалив.

Удосконалено агротехнологію вирощування сорго багаторічного завдяки використанню допосівної обробки насінневого матеріалу та застосування позакореневого підживлення, що має вплив на збільшення врожайності насіння та біомаси.

Набули подальшого розвитку питання вивчення особливостей ростових процесів рослин енергетичних культур, методичних підходів до визначення біоенергетичної та економічної ефективності виробництва їх біомаси.

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень підтверджують, що багаторічні рослини з родини *Poaceae* є перспективними енергетичними культурами. Вони формують якісну надземну вегетативну масу, що є відмінною сировиною для виробництва рідких, твердих й газоподібних біопалив. Використання біопалив, як альтернативного джерела енергії, дозволить зменшити використання природнього газу й кам'яного вугілля. Це однозначно підсилить енергонезалежність територіальних громад, сприятиме розвитку біопаливного сектору та посилить біоекономіку нашої країни.

Окрім цього, з отриманої рослинної сировини енергетичних культур можливо виготовити продукти з доданою вартістю: біопластик, картон, папір та ін. Це, беззаперечно, дозволить зменшити забруднення навколишнього природнього середовища звичайним пластиком, полімерними матеріалами, знизить токсичність ґрунтів.

Важливе практичне значення має удосконалення елементів технології вирощування енергетичних культур як для ґрунтового-кліматичних умов Степу, так і Лісостепу. Для сталого виробництва біопаливної сировини важливим елементом агротехнології є сумісне розміщення енергетичних культур на одній площі. Що дозволяє отримати максимально можливий врожай та забезпечити щорічно значний обсяг рослинної біомаси.

Доведена ефективність результатів дисертаційної роботи, що впроваджені у виробництво господарств Дніпровського та Кременчуцького

районів на площі 1,6 га. Матеріали дисертації щодо встановлених закономірностей морфо-біологічних особливостей енергетичних культур та використання їх біосировини застосовуються в навчальному процесі Полтавського державного аграрного університету МОН (м. Полтава) та Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (м. Київ) при викладанні навчальних дисциплін.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним дослідженням автора, що виконано впродовж 2018–2023 років у двох ґрунтово-кліматичних зонах України. Здобувачем особисто заплановано й реалізовано програму досліджень, виокремлено мету та завдання, проаналізовано літературні джерела за обраною темою дисертації. Автор роботи, відповідно до наукових методик, вказівок та рекомендацій провів польові та лабораторні дослідження. Що дало змогу здобувачу узагальнити й ретельно проаналізувати отриманий експериментальний матеріал. Проведення математично-статистичного аналізу отриманих даних дало можливість сформулювати: наукові положення, обґрунтовані висновки та рекомендації виробництву. За результатами дисертаційного дослідження підготовлено та опубліковано наукові статті, одноосібний розділ монографії, здійснена апробація досліджень на наукових конференціях та матеріалах, що додатково відображають результати дисертації.

Апробація й впровадження результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи і результати досліджень пройшли апробацію. Вони доповідалися та обговорювалися на всеукраїнській науково-практичній конференції: перші Сазановські читання, присвячені 100-річчю заснування Полтавської державної аграрної академії, м. Полтава (2020 р.); на I міжнародній спеціалізованій науковій конференції: організація діяльності в агропромисловому комплексі та актуальні питання ветеринарії, м. Хмельницький (2021 р.); на V Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції: хімія, біотехнологія, екологія та освіта, м. Полтава, (2021 р.); на науково-практичній інтернет-конференції: сучасні напрями та досягнення

селекції і насінництва сільськогосподарських культур, м. Полтава (2021 р.); на Міжнародній науково-практичній конференції: перспективи виробництва біосировини енергетичних культур на рекультивованих землях, м. Дніпро (2022 р.); на IV Міжнародній науково-практичній конференції: екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку, м. Полтава (2022 р.); на X міжнародній науково-практичній конференції: лікарське рослинництво: від досвіду минулого до новітніх технологій, м. Полтава (2022 р.); на VII Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції: хімія, біотехнологія, екологія та освіта, м. Полтава, (2023 р.); на VII Міжнародній науково-практичній конференції: наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва, м. Харків (2023 р.).

Публікації. Матеріали досліджень, що викладені в дисертації опубліковано в 18 наукових працях, з-поміж яких 3 статті у наукових фахових виданнях, один одноосібний розділ колективної монографії, 8 тез доповідей і матеріалів наукових конференцій та 6 матеріалах, що додатково відображають результати дисертації.

Обсяг і структура роботи. Дисертаційна робота (основна частина) викладена на 162 сторінках, загальна – на 221 сторінці комп'ютерного набору тексту й складається зі вступу, 6 розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел і додатків. Рукопис основної частини роботи містить 35 таблиць, 61 рисунок. Список використаних літературних посилань містить 146 джерел.

РОЗДІЛ 1
БОТАНІКО-БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ, АГРОЕКОЛОГІЧНІ
АСПЕКТИ ТА АГРОТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ ВИРОЩУВАННЯ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР, ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА
БІОСИРОВИНИ
(огляд літератури)

1.1. Загальна характеристика енергетичних культур, та особливості використання їх біомаси

На теперішній час, на фоні значної залежності України від непоновлюваних джерел енергії, і враховуючи високий дефіцит генеруючих потужностей, пов'язаний особливо з військовими діями, вивчення нових альтернативних джерел енергії набуває актуального значення. Особливо це проявляється у площині агровиробництва у тісному зв'язку з аграрною спрямованістю нашої країни. Що передбачає можливість отримання додаткового продукту за вирощування енергетичних культур на маргінальних землях. Найбільш раціональні шляхи реалізації цього напрямку вивчає нова галузь в Україні – біоенергетика. Основним завданням біоенергетики є удосконалення шляхів здешевлення різних видів рослинної сировини. Що передбачає розробку нових техніко-економічних рішень, а також формування необхідної інфраструктури. Це дозволить більш ефективно використовувати поновлюваних енергетичних ресурсів і вдосконалення технологій їх переробки. При цьому виробничники прагнуть отримати різні види біопалив. Це і рідкі біопалива другого покоління, газоподібні й тверді види біопалив (паливні гранули, паливні брикети тощо) [1].

Шляхи переробки біосировини енергетичних культур та отримуваних продуктів з неї наочно показано на рис. 1.1.

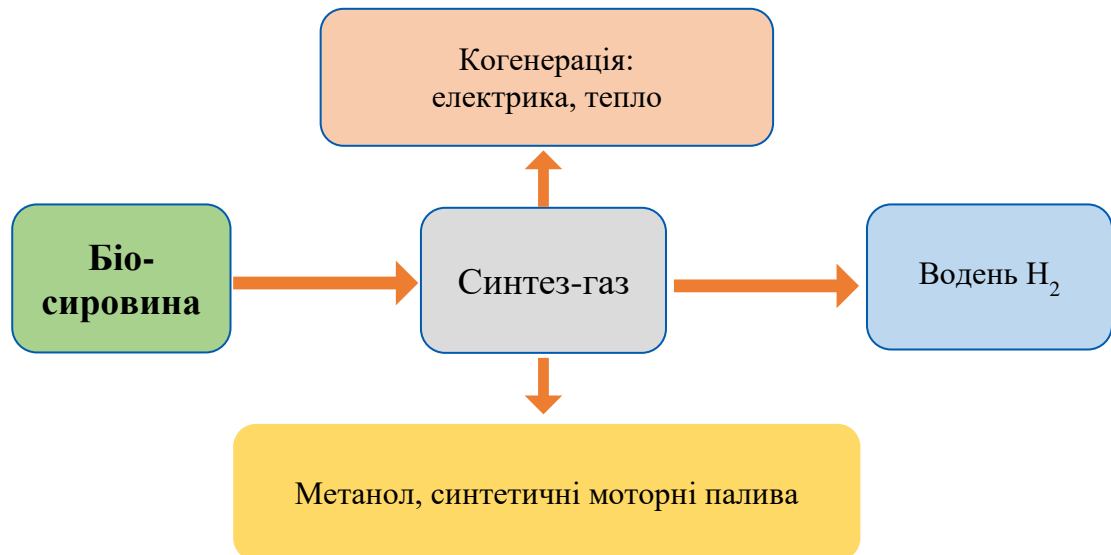


Рис. 1.1. Шляхи переробки біомаси енергетичних культур

Вивченню енергетичних культур в умовах України присвячена значна кількість наукових праць таких авторів, як М. В. Роїк, В. Л. Курило, М. Я. Гументик [2], О. М. Ганженко [3], Д. Б. Рахметов, О. М. Вергун, С.О. Рахметова [4], Г. Г. Гелетука, Т. А. Железна, О.В. Трибой [5], Г. С. Гончарук, С. М. Мандровська [6], М. І. Кулик [7] та ін.

Використання біомаси енергетичних культур має важливе значення. Адже це якісна рослинна сировина для біопалив. Що, в свою чергу передбачає зниження енергетичної залежності України. А також – це перспектива для розвитку територіальних громад. Адже, при цьому створюються нові робочі місця, йде розвиток економічної складової господарювання.

Окремо слід зазначити що, у разі багаторічного вирощування енергетичних культур, відмічається позитивний екологічний ефект. Спостерігається збільшення вмісту органічних речовини у ґрунті. Окрім цього відмічають поліпшення водного балансу ґрунтового профілю, що тісно пов'язано з кругообігом карбону та ін. [8, 9]. Це все не обмежує напрямки використання енергетичних культур. Цікавим питанням є отримання продуктів із доданою вартістю із залишків виробництва біопалива з енергокультур (рис. 1.2).

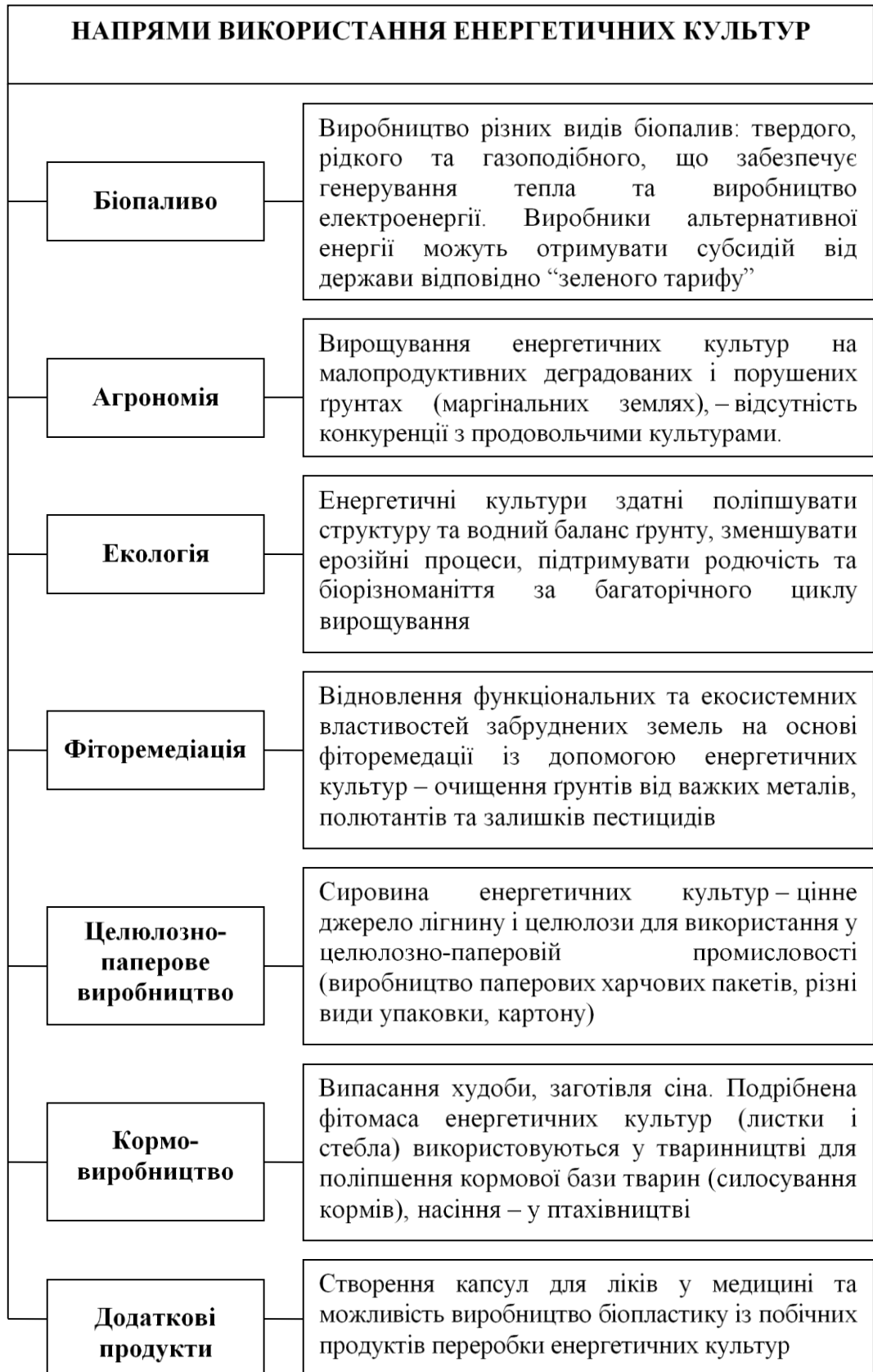
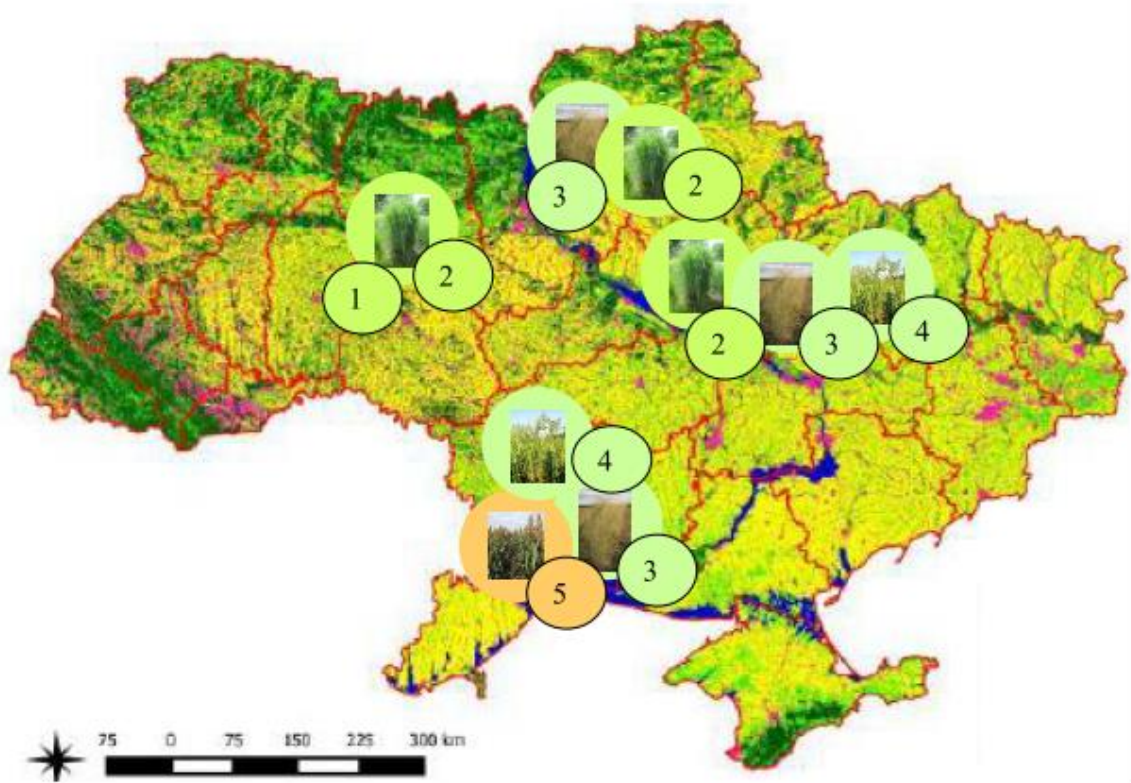


Рис. 1.2. Напрями використання енергетичних культур [10]

Найбільш поширеними енергокультурами в Україні, на сьогодні, наступні. Це і представники родини вербові *Salicaceae* – види з роду *Salix* (*Salix alba* L., *Salix viminalis* L.), родини тонконогових (*Poaceae*) – просо прутоподібне (*Panicum virgatum* L.). Широкий спектр видів роду *Miscanthus*: *Miscanthus x Giganteus* J.M. Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize, *Miscanthus sinensis* Anderss, *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim) Benth., представники тополі (*Populus*). Усі ці культури багаторічники, тривалість життя цих культур сягає 10–15 років. Слід зазначити що, в деяких випадках і за певних агрозаходів та умов цей термін подовжується до 30 років [10].

Агрокліматичне районування рослин в Україні обумовлює різнопланове розміщення по території енергетичних культур. Ця особливість пов'язується із біологічними особливостями енергорослин (рис. 1.3).



Примітка: 1 – верба; 2 – міскантус; 3 – світчграс; 4 – багат. сорго; 5 – цукрове сорго.

Рис. 1.3. Планові місця культивування енергетичних культур

Визначено, що енергетичні культури найліпше формують свою продуктивність в Поліссі. Це такі як: вербові, арундо, міскантуси та просо прутоподібне. Інші енергетичні рослини: павловнія, міскантуси, рослини з родини тонконогових й соргові культури – краще вегетують в Лісостепу. Умови Степу найкраще підходять для проса прутоподібного й соргових енергокультур [11].

У процесі вирощування енергокультури, з метою отримання біомаси, враховують виробничі витрати на різні агрозаходи. Сюди відносять добрива й засоби захисту рослин (за потреби). Важливу статтю витрат має посівний і посадковий матеріал. Під час вирощування й догляду за рослинами й під час збирання врожаю агровиробники також несуть витрати. В свою чергу, переробники витрачають ресурси на зберігання, транспортування й саме вироблення енергопродукції. Окрім цього, необхідно завжди враховувати непередбачувані витрати. Усе це, в комплексі, матиме вплив на собівартість виробництва кінцевого продукту з економічної точки зору [12, 13].

Таким чином, агрозаходи для вирощування наведених енергокультур потребують певних вкладень. При цьому збір врожаю біомаси рекомендують здійснювати взимку або навесні, що здешевлює і спрощує такий процес [14].

Ряд авторів, за вивчення енергетичних культур, встановили їх агроекологічний та енергетичний аспекти. Акцент їх дослідження був сфокусований на вивченні можливості управління посівами з агрономічної точки зору. Це і нові способи вирощування світграсу, міскантусу, соргових культур [15-17].

Науковці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків, з-поміж усього спектру, енергетичних культур, детально вивчили міскантус й світграс. Так, науковець В. Л. Курило із співавторами довели що зазначені культури є перспективними у фітоенергетиці. Водночас, ними визначено, що фітомаса міскантусу й світграсу – цінна сировина для виготовлення біопалив [18-19].

Поряд з цими культурами, науковий інтерес мають наступні: арундо тростинний [20-22], сорго цукрове та сорго багаторічне [23]. Але детальному вивченню морфобіологічних особливостей цих культур, потенціалу їхньої врожайності у взаємозв'язку з виходом умовного палива не приділялося належної уваги.

Під поняттям енергетичні культури розуміються рослини трав'янисті або деревні. Такі рослини є спеціально відібраними селективним шляхом, або відібрані з природи. Енергокультури культивуються з основним призначенням – отримання біомаси. А, після відповідної переробки, – виготовлення з них біопалив [10, 23].

Трав'яні енергетичні культури з родини тонконогових відрізняються за багатьма ознаками та властивостями. Сюди відносять і тривалість вегетаційного періоду, яку пов'язують з інтенсивністю їх розвитку. Виокремлюють також різноманітну їх форму за габітусом рослин. Звертають увагу на забарвлення вегетативних органів, тощо [10, 23, 24]. Відрізняють енергетичні культури й за реакцією на умови навколишнього середовища. Енергетичні культури мають неоднакову агротехнологію вирощування. Безсумнівно, їх призначення і особливості використання біомаси – різнопланове [23, 25].

До малопоширених та інтродукованих енергорослин на території України відносять наступні: сорговник поникаючий (*Indiangrass, Sorghastrum Nutans (L.) Nash*), біг-блуестем, який також має назви Андропогон Жерарді або Бородач Жерарді (*Big Bluestem, Andropogon Gerardii Vitman*) та сорго багаторічне або колумбова трава (*Columbus Grass, Sorghum alatum parodi*) [23].

Враховуючи вищенаведене, можна стверджувати, що малопоширені енергетичні культури добре акліматизовані до різних умов вирощування. Окрім цього вони мають переваги при культивуванні у кліматичних умовах Південного Лісостепу і північного Степу. При цьому, аспекти їх вирощування та потенціал врожайності вивчені не в повній мірі.

1.2. Ботаніко-біологічні особливості, аспекти вирощування та потенціал урожайності енергетичних культур

1.2.1. Ботаніко-біологічні особливості та аспекти вирощування проса прутіподібного

Просо прутіподібне, або світчграс (*Panicum virgatum* L.) – енергетична культура, що формує потужну фітомасу та є придатною сировиною для виробництва біопалива.

З біологічної точки зору, світчграс – прямостояча теплолюбна і досить стійка до посухи рослина. Вона формує глибоку (до 2,5 м) добре розвинену мочкувату кореневу систему. Її щільність дуже висока навіть у порівнянні з кореневою системою люцерни та кукурудзи. Рослина світчграсу добре облиствлена, формує стебло – соломину. На верхівці стебла наявне суцвіття – волоть, в ньому й формується насіння. Насіння за крупністю – дужедрібне.



Рис. 1.4. Просо прутіподібне або Світчграс (*Panicum virgatum* L.)

Світчграсу притаманні швидкі темпи росту і розвитку рослин. Окрім цього відокремлюють його високі адаптивні властивості. Рослинна сировина світчграсу слугує сировиною для виготовлення біопалив. З нього, в свою чергу отримують теплову та електричну енергію. Це можливо здійснити за безпосереднього спалювання біомаси. Практикують також газифікацію й піроліз. Також біомасу світчграсу, як сировину, використовують для виробництв целюлозного етанолу. Але все ж таки за основним призначенням сировина світчграсу йде на виробництво твердих біопалив. До них відносять: паливні гранули й брикети [26].

Світчграс, в якості поновлюваного джерела енергії має властивість до низького рівня викидів парникових газів. Так, наприклад, від спалювання етанолу з даної рослини, викиди парникових газів більш ніж удвічі менше, ніж від спалювання класичного бензину. Світчграс може давати вп'ятеро більше енергії, ніж витрачається на його вирощування. Як багаторічна культура світчграс може бути використаним для зменшення ерозійних процесів у ґрунтах. Також біомасу світчграсу застосовують на зелений корм для худоби. Він є відмінною складовою сумішшю для створення пасовищ [27-29].

Просо прутоподібне забезпечує сталу врожайність на найрізноманітніших типах ґрунтів, але найкращими для нього є добре дреновані, суглинкові та супіщані ґрунти. Однак, для вирощування на біопаливо, рекомендованими є маргінальні землі, непридатні або небажані для вирощування типових сільськогосподарських культур [30].

Урожайність біомаси світчграсу може змінюватись у межах – від 6 до 25 т/га сухої речовини за багаторічного використання енергоплантації на маргінальних землях (до 15-20 років) [31].

Біомасу світчграсу можна збирати як першого, так і другого року вирощування культури, але промислове використання енергоплантації практикують з третього року. Просо прутоподібне забезпечує до 30 % свого потенціалу біомаси у перший рік вегетації, до 70 % – на другий рік і 100 % потенціалу – починаючи із третього року вирощування. Ці залежності є

подібними до міскантусу. Час збирання проса прутоподібного обумовлює вихід біомаси і якість сировини, що, в свою чергу має вплив на виробництво біопалива і пов'язані з ним економічні чинники. За осіннього збору, порівняно із весняним врожайність біомаси буде вищою за одночасно нижчого вмісту сухої речовини. Але водночас, за зимовий період із біомаси, вилугується частина калію і хлору, що поліпшує якість рослинної сировини [31].

При вивченні особливостей формування росту і розвитку рослин світлграсу, в умовах Лісостепу Західного [32] визначено наступне. У залежності від строків сівби і глибини загортання насіння змінюється врожайність біомаси. Встановлено, що вона була на рівні 12,9-11,6 т/га у залежності від строків сівби та варіантів глибини загортання насіння. Найвища урожайність біомаси в 12,9 т/га була отримана за умов сівби у III декаду квітня при глибині загортання насіння 1,0-1,5 см. Автор зазначає, що оптимальний строк посіву в III декаду квітня прямо впливає на врожайність біомаси. Вона була найвищою при всіх досліджуваних варіантах глибин заробки насіння.

Вищезазначена робота [32] виконана в зоні Лісостепу Західного. Це доводить що світлграс на території України, показує високі адаптаційні якості. Що підтверджується роботою [33], яка досліджує адаптацію рослин світлграсу за умов моделювання зміни клімату в Лісостеповій зоні. Цими авторами визначені особливості проходження етапів органогенезу світлграсу в різних кліматичних умовах України (Вінницька і Полтавська області). Так, термін відновлення вегетації світлграсу майже співпадає з датою переходу температури повітря навесні через 10 °С. Раніше починалося відновлення вегетації посівів світлграсу в Полтавській області – 19 квітня. Дещо пізніше відновлюють вегетацію посіви в Вінницькій області – 22 квітня. Вихід у трубку на посівах світлграсу, на дослідженій території, відбувався у Полтавській області 15 травня, а у Вінницькій – 18 травня. Викидання волоті спостерігалось, за базових умов, у Полтавській області – 3 липня, у Вінницькій області – 7 липня. Фаза цвітіння в Полтавській області починалася 27 липня, у Вінницькій – 28 липня. Закічення вегетації (підсихання) у Полтавській області

починалася 22 вересня, у Вінницькій – 25 вересня. У підсумку авторами доведено вплив змін клімату на дати настання основних фаз розвитку світчграсу. Вони також визначили і вплив очікуваних змін на температурний режим та умови зволоження вегетаційного періоду. Виходячи з зазначених даних, розрахунковим методом, можна спрогнозувати основні цикли світчграсу у всіх кліматичних зонах України.

Взагалі, за комплексною оцінкою показників, з урахуванням економічної ефективності вирощування світчграсу [36], виконаний порівняльний аналіз різних його агротехнологій. Автори віднайшли найбільш раціональний варіант використання як матеріальних і нематеріальних ресурсів для отримання значних обсягів виробництва біомаси. Авторами були оптимізовані й удосконалені елементи технології сумісних й одновидових посівів світчграсу. Це, в свою чергу, дало можливість обґрунтувати економічну ефективність виробництва біомаси світчграсу за рівнем рентабельності.

1.2.2. Ботаніко-біологічні особливості та аспекти вирощування сорговника поникаючого

Сорговник поникаючий, або індіанграс, лат. *Indiangrass, Sorghastrum nutans L. Nash* (також зустрічаються назви *Indian Grass, Wood Grass, Sorghastrum avenaceum*) – багаторічна рослина, що походить зі східної та центральної частини США. Вона формує розлоге скупчення тонких, дугоподібних, насичено-зелених або синьо-зелених листків (рис. 1.5). Як і інші представники посушливих регіонів, сорговник поникаючий – рослина «теплого сезону». Тому її цвітіння припадає на кінець літа та осінь. Має ефектні пір'ясті волоті мідного кольору з помітними яскраво-жовтими тичинками, які при дозріванні піднімаються над листям і стають світло-каштановими. Восени листя змінює своє забарвлення від жовтого до яскраво-

оранжевого кольору. Дорослі рослини сягають 90-180 см у висоту. Рослина вільно само-засівається за наявності відповідних умов [10].



Рис. 1.5. Сорговник поникаючий (*Sorghastrum nutans* (L.) Nash)

Індіанграсс належить до роду *Sorghastrum*. Назва *Sorghastrum* походить від *Sorghum* і латин. суфікса *astrum* (погана імітація). Це вказує на схожість із *Sorghum*. Рід складається приблизно з 20 видів. Вони поширені переважно в тропічній і субтропічній Африці та Америці. Вісім видів і один підвид визначені в «Інформаційній мережі ресурсів зародкової плазми» (GRIN, 2003), з ареалами поширення в Канаді, США, Кубі, Мексиці, Південній Америці та тропічній Африці.

Поширені у Північній Америці індіанграсс (*Sorghastrum nutans* (L.) Nash), тонкий індіанграсс (*S. elliottii* (c. Mohr) Nash) і індіанграсс однобокий (*S. secundum* (Elliott) Nash) є типовими місцевими рослинами. Індіанграсс є

найбільш широко поширеним видом *Sorghastrum*, на території, що обмежується південним сходом США [37].

Найкраще рослини сорговника поникаючого розвиваються на освітлених ділянках. Підходять йому ґрунти із середньою, сухою та середньою вологістю. Вони повинні добре пропускати воду й бути дренованими. Ця рослина не вибаглива до ґрунтів. Йому підходять важкі глинисті та збіднені на поживні речовини й неродючі ґрунти. Рослина не переносить надмірні зимові опади. Сорговник поникаючий стійкий до посухи. Рослини не потребують особливого догляду за вирощування, проявляють стійкість до хвороб й шкідників – індіанграсс майже ними не уражується. Розмножується сорговник генеративно: насінням або ризомами навесні [37, 38].

У зв'язку з тим, що природні умови сорговника поникаючого є подібними до територій північного і центрального Степу та півдня Лісостепу України, він розглядається як перспективна енергетична культура й для цих регіонів.

На теперішній час, в Україні проведені успішні дослідження щодо вивчення адаптивного потенціалу сорговника поникаючого в умовах Степу України. Насіння висівалося на початку квітня у відкритий ґрунт. Визначено, що у перший рік життя, рослини накопичують незначну вегетативну масу. Рослини уходять до стадії спокою в середині жовтня. Весняне відростання пагонів на другий і третій роки у рослин сорговника пониклого відмічають навесні. Цей період припадає на кінець квітня. Другого року він вступає у генеративну фазу: квітування. Це припадає на середину липня, насіння ж дозріває у вересні. Розпочинаючи з другого року життя, спостерігалось активне накопичення підземної і надземної біомаси сорговника. При цьому, максимуму кількість вегетативної біомаси відмічається наприкінці третього року. В цей період урожайність сорговника становить до 15,0 т/га. [39].

На сьогодні, є два напрями досліджень при культивуванні сорговника поникаючого: вивчення насінневої продуктивності та потенціалу врожаю біомаси.

При постановці експерименту для вивченні впливу елементів технології, що прямо впливають на схожість насіння сорговника поникаючого встановлено наступне [40]. Відмічено, що після сухого зберігання протягом 5 та 11 місяців (насіння нового та попереднього сезону, відповідно) при 5°C менш ніж 10%, насіння сорговника поникаючого проросло, відповідно до стандартного тесту на схожість. Автори публікації спробували підвищити схожість. Для цього насіння піддали обробці, що порушує стан спокою. Воно включало три фактори впливу: замочування гідрохлоридом натрію (5,2 5% об'єм NaOCl; терміном 20 або 60 хв), попереднє охолодження (5°C протягом 14 діб), обробка гібереліновою кислотою під час проростання (GA₃, 1000 мг/л¹) та їх комбінації. В результаті було встановлено, що обробка NaOCl підвищувала схожість не охолодженого насіння лише тоді, коли воно було пророщене з обробкою GA₃; 60-хвилинне замочування в NaOCl збільшило схожість до 53 % і 65 % насіння нового та попереднього сезону відповідно. Попереднє примусове охолодження підвищило схожість до 65 % і 47 % насіння зі зразків поточного та попереднього сезону відповідно. Схожість насіння після 5 місячного зберігання, яке було попередньо стратифікованим додатково збільшилася до 86 % шляхом 20-хвилинного замочування в NaOCl або проростання в GA₃. Схожість стратифікованого (охолодженого) насіння попереднього сезону насіння була збільшена до 67 % за рахунок проростання в GA₃. В той самий час, 20-ти хвилинна подальша обробка замочуванням в NaOCl ніяк не сприяла проростанню відповідних зразків насіння. Враховуючи те що, тільки саме обробка NaOCl не сприяла проростанню, дослід продовжився перевірченням впливу на появу і ріст сходів GA₃ при 1000 мг/л¹ протягом 2-тижневого періоду попереднього охолодження. В результаті дослідження авторами роботи був зроблений висновок: в той час, як саме попереднє охолодження збільшило проростання в середньому до 34% для насіння як поточного так і минулого сезону, попереднє охолодження зі застосуванням GA₃, збільшило лабораторну схожість до 75 % та 50 % для насіння поточного та попереднього сезонів відповідно. Також виявлено, що

зазначені обробки ніяк не впливали на суху масу сходів, а вплив GA_3 на насіння під час, а не після попереднього охолодження, виявився найбільш ефективним у сприянні розвитку сорговника поникаючого.

Також важливими чинниками, при культивуванні сорговника поникаючого, є температура й кількість вологи [41]. Відмічено, що за оптимального поєднання цих чинників відбувається проростання насіння. А це, в свою чергу – прямо впливає на терміни сівби. Так, метою дослідження [42] було визначення впливу температури, водного потенціалу та також впливу хлориду натрію на проростання сорговника поникаючого. Для дослідження автори використали сорти Lometa, Cheyenne, Llano, Oto та Tejas. Насіння пророщували при шести змінних температурах від $5-15^{\circ}C$ до $30-40^{\circ}C$ (12-12 годин). Насіння Lometa, Cheyenne і Tejas пророщували в розчинах поліетиленгліколю (молекулярна маса = 8000), змішаних до приблизного водного потенціалу 0, -0,4, -0,8, -1,2 і -1,6 МПа і в 0, 0,06, 0,12, 0,18 і 0,24 моль $л^{-1}$ розчинів хлориду натрію. Оптимальні температури для збільшення відсотка проростання були від 10-20 до 25-35, 10-20 до 20-30 і 15-25 і 20-30 $^{\circ}C$ для насіння Cheyenne і Tejas, Llano і Oto і Lometa відповідно. Відсоток схожості насіння сортів Сорговника поникаючого Cheyenne і Lometa був знижений при водному потенціалі -0,8 МПа і нижче, тоді як насіння сорту Tejas продемонструвало нижчий відсоток схожості, ніж контрольні при -1,2 і -1,8 МПа. Відсоток схожості насіння сортів Cheyenne і Lometa був знижений концентраціями хлориду натрію 0,12 моль/ $л^{-1}$ і більше. Схожість насіння сорту Tejas була знижена при 0,18 і 0,24 моль $л^{-1}$. Таким чином, дослідом доведено, що сорти Сорговника поникаючого, проростають у схожому діапазоні температур, але суттєво відрізняються за реакцією проростання на низький потенціал води.

Водний режим місця вирощування Сорговника поникаючого має значний вплив на показники якості насіння та кількість зібраної біомаси, що обумовлюється кліматичними умовами для інтродукції. Так в дослідженні [43], насіння сорговника поникаючого було зібрано з трьох місць, які отримують

приблизно 400 мм (Хейс, Канзас), 800 мм (Конза Прері, Канзас) і 1200 мм (південний Іллінойс) опадів на рік. Насіння пророщували у вермикуліті, по 6 саджанців висаджували в горщики із співвідношенням пісок / ґрунт 1:1, з 12 (дванадцятьма) умовами дорсліду, які були розділеними у відповідності до чотирьох насінневих джерел екотипу (400 мм, 800 мм, 1200 мм та змішані) і трьох варіантів поливу (300, 600 і 900 мм). Кожен горщик прорідили до трьох сходів. В горщики «змішаного» екотипу помістили по одному саджанцю з кожного з джерел. Кожна операція була повторена 5 разів ($n = 60$). Освітлення в теплиці подавалося протягом 8 годин на день, а температура встановлювалась $+21...29^{\circ}\text{C}$. Дослід проводився на протязі 12 (дванадцяти) тижнів, з частотою поливу один раз в 4 дні. Чистий фотосинтез вимірювали після 12 (дванадцяти) тижнів росту за допомогою LiCor 6400, активне випромінювання (PAR) у камері для листя LiCor було налаштовано на умови, наближені до тепличних.

Після 12 (дванадцяти) тижнів, загальну біомасу рослин сорговника поникаючого розраховали за сумою надземної та підземної біомаси. Для розрахунку надземної біомаси, кожену рослину обрізали, висушили при 55°C і зважили. Для визначення підземної біомаси, коріння відокремлювали від ґрунту, промивали, сушили, також при 55°C і зважували. Чисту продуктивність фотосинтезу та дані про біомасу рослин аналізували за допомогою процедури змішаної моделі в SAS (SAS Inst. 2003), де кількість рослин / ємність була випадковим ефектом.

В результаті дослідження встановлено, що середня продуктивність фотосинтезу (стандартна помилка) у горщиках, висаджених одним екотипом, були найвищими у рослин із штату Канзас (Хейс і Конза) у будь-якому режимі поливу. Середні значення з тією ж літерою істотно не відрізнялися ($\alpha = 0,05$).

Таким чином, відмінності у фізіологічних характеристиках сорговника поникаючого, зібраного з різних вихідних популяцій, вирощених у спільному

грунті та контрольованому середовищі, підтвердили існування екотипових варіацій.

Також важливим є визначення, що вага біомаси не зростає при збільшенні водопостачання (опадів), як передбачалося, через високу продуктивність при найнижчому рівні опадів. Це можна пояснити високою ефективністю використання води степними травами [41, 42] і адаптацією цього виду до посухи через градієнт опадів [42].

Найменша варіація біомаси серед екотипів сорговника поникаючого спостерігалася при найвищому рівні зволоження. Таким чином, екологічні наслідки для екотипічної варіації домінантного виду можуть змінюватися в залежності від клімату.

Горщики, з саджанцями змішаного екотипу не показали відмінностей між джерелами біомаси, в залежності від процедур поливу або фотосинтезу, при умові, що всі джерела були висаджені одночасно.

Результат дослідження свідчить про те, що поєднання екотипів Сорговника поникаючого може стабілізувати продуктивність за більш широкого діапазону режимів опадів. Одночасно рекомендовано польовий дослід для прогнозування реакції всієї екосистеми [43].

Найважливішим при культивуванні сорговника поникаючого, у разі інтродукції, є швидкість проростання насіння й швидкість укорінення сходів. З метою покращення схожості насіння трьох популяцій в дослідженні [44] було розроблено за допомогою двох циклів повторного відбору та польового випробування дев'яти популяцій.

Два цикли рекурентного відбору були використані для створення популяцій S_1 і S_2 , з трьох раніше невідібраних популяцій індіанграсу. Цикл 1 складався з пророщування 3500 штук придатних насінин кожної популяції «нульового» S_0 у воді з потенціалом – 0,8 МПа протягом 7 днів. Усе насіння, що проросло протягом 7 днів, було відібрано для створення трьох популяцій S_1 . Відбір у циклі 2 був подібним до циклу 1, за винятком того, що популяції S_1 використовували для створення трьох популяцій S_2 . Щоб перевірити вплив

відбору, чотири зразки по 50 колосків дев'яти популяцій індіанграсу пророщували у воді з потенціалом $-0,8$ і 0 МПа на протязі 7 діб для обох зборів насіння.

Обидва водні потенціали спричинили взаємодію популяції \times відбору покоління ($P \leq 0,05$). Різні показники приросту серед популяцій індіанграсу для обробки водного потенціалу ($-0,8$ і 0 МПа) описували взаємодію. У середньому популяції C_1 і C_2 проростали і приживалися краще, ніж популяції C_0 в польових умовах.

Отримані результати свідчать про те, що повторна селекція для підвищення лабораторної схожості насіння індіанграсу в умовах низького водного потенціалу не тільки покращила 7-денну лабораторну схожість насіння, але також покращила масу насіння та якість укорінення висаджених рослин. Укорінення травостою індіанграсу в польових умовах, буде покращуватися шляхом відбору для пророщування насіння за низького водного потенціалу [44].

Дослідження системи захисту сорговника поникаючого, на теперішній час, висвітлені в обмеженій кількості публікацій. Навні лише окремі публікації. До прикладу, дослідження щодо досходових гербіцидів по насадженнях Сорговника поникаючого [45] показало наступне. Сорговник поникаючий не має достатньої толерантності до діючої речовини атразин [6-хлор-N-етил-N-(1-метилетил)-1,3,5-тріазин-2,4-діаміну] (в Україні за діючою речовиною є розповсюдженим препарат Примекстра Голд 720 SC), щоб дозволити використання атразину як досходового гербіциду. Діюча речовина атразин блокує фотосинтез, викликаючи диференціальну флуоресценцію серед рослин. Поліпшення стійкості розсади до атразину можливе за умови тепличного ґрунту та звичайних методів розведення.

Таким чином, визначено, що сорговник має добрі адаптивні властивості, здатен формувати врожайність на різних ґрунтах. Наявні численні публікації щодо вивчення його насіння, в той же час, щодо використання в сумісних посівах – інформації недостатньо.

1.2.3. Ботаніко-біологічні особливості та аспекти вирощування Біг Блуестему

Біг-Блуестем (*Andropogon gerardii* Vitman), також поширені назви *BigBlueStem*, *Turkeyfoot* – це багаторічна рослина «теплого сезону». Вона походить з Північної Америки, Мексики. Рослини Біг-блуестему утворюють вертикальні стебла з листям злегка блакитного відтінку (рис.1.6).



Рис. 1.6. Біг Блуестем (*Andropogon Gerardii* Vitman)

Навесні листкова фітомаса біг-блуестему стає синьо-зеленою, а восени стає насиченим оранжевим і мідно-червоним, іноді з лавандовими відтінками. Високі стебла наприкінці літа піднімаються над листям із глянцевиими насичено-фіолетовими. Суцвіття 3-роздільне, схоже на індичі лапки (звідси загальна назва). Ростає в щільному скупченні до 120-180 см у висоту і 60-90 см в купині. Вільно самозасівається, при наявності придатних умов. Найкращі показники врожайності дає на добре освітлених ділянках з сухими та середньо-зволоженими, добре дренованими ґрунтами. Ця рослина не вибаглива до ґрунтів і переносить широкий діапазон ґрунтових умов, при чому

на родючих ґрунтах рослини будуть більш слабкими. У зв'язку з цим, Біг Блюестем ідеально підходить для насадження на деградованих ґрунтах, а також берегах і схилах, з метою боротьби з ерозією [37]. В природньому ареалі рослина стійка до шкідників й хворобам. Розмножують біг-блюестем насінням або діленням кореня з ризом.

Селекція Біг Блюестема (*Andropogon gerardii Vitman*) разом зі світчґрасом (*Panicum virgatum L.*), з метою сталого виробництва біомаси для перетворення на біоенергію, почалася в США, в 1992 році [37]. Мета таких досліджень була розробити платформу для єдиного регіонального тестування сортів і експериментальних популяцій цих видів. Також передбачалося оцінити багаторічні результати, досягнуті культивуванням цих рослин протягом 1992–2012 рр. [37].

Загалом 25 зразків з різних популяцій світчґрасу та 16 зразків з популяцій Біг-Блюестему було висаджено в однорідних регіональних випробуваннях у 13 місцях у 2012 та 2014 роках, на території США, у зонах з середньо-вологим помірним кліматом (індекс по USDA від 3 до 6).

В результаті, значний прогрес збільшення врожайності біомаси був отриманий у біг-блюестему, та в популяціях гірського екотипу, популяціях низинного екотипу та гібридних популяціях світчґрасу. Задokumentовано чотири механізми підвищення врожайності біомаси:

- а) збільшення врожайності біомаси як такої;
- б) селекція пізнішого цвітіння з метою продовження вегетаційного періоду;
- в) поєднання більш пізнього цвітіння низинного екотипу з витривалістю високогірного екотипу популяцій, отриманих від гібридизації;
- г) збільшення виживання пізньоквітучих низинних популяцій у кліматичних умовах (інших зонах), які були зроблені задля розширення природної зони адаптації.

Світчграс продемонстрував усі чотири механізми в одній або кількох покращених популяціях, тоді як покращені популяції біг блюестему, зазнали впливу тільки двох із чотирьох механізмів.

Уніфікована програма тестування довела збільшення врожаю біомаси, виявила механізми збільшення врожаю та визначила характеристики адаптації та обмежень покращених популяцій.

Окрім насіннєвого розмноження, по аналогії з міскантусами, досліджена можливість вегетативного розмноження біг-блюестему та сорговника поникаючого [38, 39].

Базуючись на цих досліджах, можна припустити доведеною доцільність інтродукування біг блюестему (наряду зі світчграсом) в степову і лісостепову зони України.

З метою визначення генетичного та екологічного впливу рівня опадів, п'ять екотипів біг блюестему і сенд блюестему [*Andropogon gerardii* var. *paucipilus* (Nash) Fern.] були висаджені в різних умовах. Виконано на чотирьох дослідженнях при звичайних кліматичних умовах від західного Канзасу до південного Іллінойсу, США [40]. Це дослідження підтвердило високу адаптивність біг блюестему до різного рівня опадів. Як й у випадку з сорговником поникаючим, це також можна пояснити високою ефективністю використання води степовими травами.

Конкуренція з бур'янами є основним фактором, що спричиняє неспроможність посіву трав «теплого сезону» як на пасовищах, так й на орних угіддях. Як і сорговник поникаючий, біг блюестем, на початку вегетації є вразливим до кількості бур'янів.

У зв'язку з чим, вивчається застосування досходових гербіцидів з такими діючими речовинами як метолахлор та атразин і для біг-блюестему [41]. На пасовищах і орних угіддях у центральній частині Великих рівнин Північної Америки, було проведено дослідження, щоб визначити, що гербіциди з діючими речовинами а) метолахлор (2-хлор-N-(2-етил-6-метилфеніл)-N-(2-метокси-1-метилетил) ацетамід) і б) атразин (6-хлор-N-

етил-N'-(1-метил-етил)-1,3,5-триазин-2,4-діамін), застосовані до сходів, можуть покращити приживлюваність сортів біг блюестему і сенд блюестему (*Andropogon gerardii* var. *paucipilus* (Nash) Fern.). Для цього, біг блюестем сортів «Bonilla», «Pawnee», «Kaw» і «Rountree» і сорт «Goldstrike» сенд блюестему були висаджені в кінці травня – на початку червня 1989 і 1990 років поблизу Clay Center і Мід в штаті Небраска. По посівах провели обробку метолахлором в нормах 2,2 і 3,3 кг діючої речовини/га⁻¹ і атразином по 2 кг діючої речовини/га⁻¹. Обробку проводили як окремо, так і в баковій суміші, до того, як з'явилися бур'яни і сходи. Густота (кількість повторів, кількість інших рослин, що траплялися в клітках відбору проб і виражена у відсотках від загальної кількості оцінених кліток) і врожайність сортів трав вимірювалися через рік після посіву, з метою визначення його успішності.

Частота травостою зазвичай була > 50 %, з обробкою гербіцидом або без неї. Урожайність біомаси всіх сортів біг блюестему та сенд блюестему збільшилася до 30% при застосуванні досходових гербіцидів у рік посіву, у порівнянні з ділянками, які не підлягали обробці гербіцидами. Для кожного сорту врожайність і густота стояння були подібними, у випадку застосування метолахлору або атразину при 2,2 кг діючої речовини га⁻¹.

Таким чином, метолахлор є відповідною заміною атразину для обробки насаджень біг блюестему. Проте врожайність і густота стояння більшості сортів були максимальними, коли метолахлор і атразин застосовувалися в комбінації.

Слід зазначити, що, при умові використання гербіцидів по насадженнях біг блюестему, необхідно коригувати норми висіву насіння [41]. На гущину травостою та врожайність біг блюестему вплинули, головним чином, основні ефекти гербіциду та норми висіву. Гущина травостою зазвичай збільшується зі збільшенням норми висіву. В наведеному експерименті, великі насадження біг блюестему були успішно створені на 12 ділянках. На трьох із чотирьох дослідних ділянках, на яких норма висіву була 110 PLS м⁻², і на усіх інших ділянках за норми висіву 220 або 440 PLS м⁻². Урожайність біг блюестему

підвищилася на $1,2 \text{ мг га}^{-1}$ на площах, оброблених метолахлором, у порівнянні з необробленими ділянками у «Clay Center» у 1991 і 1992 роках і в Міді в 1991 році. Атразин підвищив урожайність біг блюестему на $1,2$ і $2,4 \text{ мг га}^{-1}$ у Міді у 1991 та 1992 роках, і ніяк не вплинув на врожайність у «Clay Center».

Виходячи з наведеного, гербіциди, діючими речовинами в яких є метолахлор та/або атразин, можна застосовувати по насадженнях біг блюестему, у якості досходового гербіциду, у рік посіву, з відповідним корегуванням норм висіву.

Таким чином, у підсумку можна стверджувати, що рослини біг-блюестему, не в повній мірі вивчені в світі, та майже відсутні – в умовах України. Поряд з їх адаптивними властивостями, необхідно більш детально вивчати можливість вирощування їх у сумішках. Дослідження цього напрямку необхідно проводити і в екологічній площині. Це дасть змогу всебічно оцінити вплив на ґрунти, поживні речовини та водні режими. Фіторемедіаційні властивості біг-блюестему теж потребують вивчення та подальшого обґрунтування. Тому, за цією культурою – перспективи в науковому плані.

1.2.4. Ботаніко-біологічні особливості та аспекти вирощування сорго багаторічного

Сорго багаторічне, або трава Колумба (*Sorghum almum Parodi*) – багаторічна кормова культура, що відноситься до роду соргових (*Sorghum*). Батьківщиною трави Колумба є Аргентина, де вона вперше була описана в 1943 році. Трава Колумба є природнім гібридом гумаю (*S.Halepense*) и суданської трави (*S.Sudanense*) [51].

Колумбова трава є високопродуктивним багаторічником, з високим вмістом крохмалю й цукру в корінні [10, 51].

Трава Колумба має широкий ареал розповсюдження від тропічного, субтропічного до помірного клімату, особливо в районах з постійною невисокою кількістю опадів, оскільки має високу посухостійкість [51, 52].

Окрім посухостійкості, трава Колумба має гарний відклик на зволоження, краще за інші види сорго. Біологічний тип потребує найменшу кількість вологи для створення сухих речовин [52].



Рис.1.7. Сорго багаторічне або трава Колумба
(*Sorghum alatum Parodi*)

При проведенні досліджень сорго багаторічного вивчають ряд чинників. Основні з них на сьогодні: залежність урожайності від декількох факторів: спосіб, норми й терміни сівби, дози й строки внесення добрив у підживленні посівів та ін.[10, 51].

Так, при дослідженні [53] норми висіву 10, 20, 30 кг/га найбільшу врожайність отримано на ділянці з шириною міжрядь 45 см і з нормою висіву насіння 30 кг/га. Для міжрядь 15, 45, 75 см визначена прямо пропорційна залежність між врожайністю й нормою висіву.

Окремо зазначимо, що дослідження може розглядатися як основне, оскільки проводилось в кліматичних умовах, ідентичних до умов Лісостепу й Степу України.

За 9 років цього дослідження, найкращим виявлено варіант при нормі висіву 30 кг/га з міжряддями шириною 45 см, за умови раннього посіву (1-ша декада травня при ранній весні з 3-тої декади квітня). Врожайність сухої біомаси у цьому випадку склала 165,4 Ц/га. За умови фіксованої норми внесення насіння та ширини міжрядь, урожайність зменшується відповідно до інших термінів посіву.

Таким чином, оптимальний варіант з метою отримання максимальної кількості біомаси відповідає раннім термінам посіву, шириною міжрядь 45 см.

Слід зазначити, що, у разі вирощування трави Колумба з метою отримання сухої біомаси (для процесів подальшої переробки на біопаливо), для зменшення витрат, понесених на вирощування, можуть бути доцільними інші варіанти з наведених вище, оскільки вплив чинників найбільше відображається на зеленій масі рослин.

Щодо оптимальних термінів сівби, дослідженнями [54] встановлено, в лабораторних умовах, суттєвий вплив температури на схожість насіння трави Колумба. Виявлено, що оптимальною температурою для проростання насіння є 24-25°C. Температури в діапазоні нижче 20°C й вище 35°C призводять до зниження відсотку їх проростання. При цьому слід враховувати, що польова схожість насіння, в середньому, на 12-15 % менше ніж лабораторна.

Важливим чинником, що впливає на врожайність трави Колумба є система підживлення, оскільки рослини чутко реагують на зміни ґрунтових умов культивування. Урожайність трави Колумба, окрім кліматичних умов, залежить від рівня мінерального підживлення [55].

Найбільша врожайність трави Колумба відзначилась у варіанті внесення $N_{200}P_{140}K_{100}$, а подальше збільшення норми внесення добрив не привело до збільшення врожайності.

Також, при розгляді аспектів вирощування трави Колумба в північному Узбекистані [56], в степовій зоні України [57], визначились оптимальні терміни сівби. При цьому враховували температуру ґрунту, а саме коли ґрунт прогріється на глибині посіву до 10-11°C.

Трава Колумба, як всі соргові, на початкових етапах (від сівби до кущення) розвивається досить повільно, що, відповідно, має вплив на урожайність за наявності забур'яненості насаджень.

Не зважаючи на інтенсивний ріст, у порівнянні зі злаковим різнотрав'ям, при великій засміченості ділянок, ріст уповільнюється, кушіння не є вираженим, й відмічається вихід в трубку при недостатньому зростанні у висоту [55, 57].

З метою зменшення засміченості бур'янів рекомендують провести першу міжрядну обробку до появи сходів, або в період початку вегетації. Після проходження фази кушіння трава Колумба, подавляє бур'яни до рівня, що майже не впливає на врожайність [55].

Насіннева продуктивність трави Колумба. Відповідно до [53,55,56], порівняльний аналіз врожайності насіння вказує, що урожайність насіння напряму залежить від термінів посіву й способу висіву. При ранніх термінах врожайність насіння вища, у порівнянні з середнім й пізнім, оскільки насіння встигає визріти до початку збирання культури. Найвищим показник насінневої продуктивності був при умовах раннього терміну посіву, широкорядним способом (ширина рядків 45 см), з нормою висіву 30 кг/га.

Варіант такого посіву трави Колумба є найвигіднішим, оскільки він є універсальним як для випадків культивування на біомасу, так і на насіння.

Для цілей цієї роботи, трава Колумба, у разі вирощування її з метою отримання біомаси для отримання біопалива, повинна розглядатися, з економічної точки зору, як проміжна культура для поліпшення економічних показників, оскільки вона має високу врожайність з першого року культивування, у порівнянні з іншими злаковими енергетичними культурами, які розглядаються в цій роботі, але значно менший термін стабільної врожайності біомаси на одній ділянці – до 5-7 років [10, 55, 57] проти 14-17 для світчграса, сорговника поникаючого, біг-блуестема.

Отже, в науковій літературі достатньо інформації щодо різнопланових досліджень трави Колумба. Проте, за умов екологічного вирощування,

вбачаємо перспективу вивчення ефективності препаратів біологічного походження на формування врожайності біомаси й насіння даної культури.

1.3. Обґрунтування агроекологічних особливостей технології вирощування енергетичних культур.

Насьогодні проблематика екології довкілля є досить відчутною для України. До того ж, екологічний вплив антропогенної діяльності стає все більш відчутнішим. Тому, в планетарному масштабі відбуваються незворотні зміни клімату. Що в свою чергу сприяє зростанню тренду середньодобової температури повітря як в окремих регіонах так і на планеті в цілому. Водночас відмічається погіршення водного режиму ґрунтів, спостерігаються часті посухи, що змінюються рясними зливами [58, 59].

Ґрунтово-кліматичні умови майже усіх областей, та й України в цілому, є сприятливими для культивування енергетичних культур. Це стосується й вирощування багаторічних енергетичних рослин в різних природних зонах. Особливо це стосується рослин групи C_4 , які здатні інтенсивно акумулювати енергію сонця, що відмічають впродовж всього їх вегетаційного періоду. Окрім цього, енергетичні культури культивують за спрощеною технологією вирощування на маргінальних землях.

Маргінальні землі – деградаційні ґрунти, що не використовують для ведення сільського господарства. Також енергетичні культури, не потребують значного використання добрив та пестицидів. А завдяки щільності фітоценозу та потужності кореневої системи – запобігають ерозії ґрунту. Окрім цього енергетичні культури володіють фіторемедіаційними властивостями. Ці комплексні особливості енергетичних культур сприяють збереженню та покращенню функціонування агроecosystem [60, 61, 62]. В свою чергу, це дозволяє стверджувати про доцільність вирощування енергетичних рослин на землях, виведених із сівозміни. А таких земель, згідно статистичних даних в Україні, налічується від 3 до 5 млн. га [63, 64].

З-поміж енергокультур, що можуть використовуватись для рекультивації ґрунтів найкращими є світчґрас, міскантус, біг-блуестем, індіанґрас та сорго багаторічне. Ці рослини – інтродуковані види злаків, мають добрі адаптивні властивості за вирощування в Україні [65, 66]. Поряд з цим, вище перелічені рослини здатні формувати значний обсяг біомаси за багаторічного циклу вирощування [67, 68]. У зв'язку з чим, наукове обґрунтування вирощування енергетичних культур на маргінальних землях для поліпшення екології довкілля набуває актуального значення.

Деградація ґрунтів є однією з пріоритетних тем, на які все більше уваги приділяють міжнародні та світові організації. Цей негативний вплив безпосередньо впливає на реалізацію цілей сталого розвитку (SDG) (прийняті всіма членами ООН у 2015 році і містять план дій та критерії оцінки, зроблені до 2030 року). Не менш актуальним питанням залишається пошук шляхів зменшення використання непоновлюваних ресурсів нашої планети, та ширшого залучення альтернативних джерел енергії, в тому числі і біомасу рослин.

На даний час як в Україні, так і в інших країнах, що розвиваються поточні темпи розвитку сектору біоенергетики є недостатніми [69]. Для досягнення цілей Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року в Україні необхідно створити конкурентний ринок біопалива. Для цього необхідно забезпечити вільний доступ підприємств всіх форм власності до відходів або побічної продукції лісового та сільського господарства, а також заснувати біопаливну біржу для реалізації операцій купівлі-продажу різних видів біопалива із рослинної сировини [70].

Так, у роботі [71] проаналізовано недоліки енергетичних культур як палива, запропоновано шляхи пом'якшення їх негативного впливу. Розглянуто сучасний стан та перспективи розвитку даного сектору в Україні. Запропоновано концепцію вирощування енергетичних культур в Україні. Поряд з цим визначено, що енергетичні культури в Україні мають усі перспективи до вирощування: соціальні, економічні, природні та агротехнічні.

На даний час, всебічне вивчення енергетичних культур та удосконалення технології їх вирощування на маргінальних землях набуває першочергового значення. Адаже землі не сільськогосподарського призначення не завжди мають хороші агрохімічні показники, в т.ч. і низький вміст елементів живлення для рослин, особливо азоту. Для вирішення цієї проблеми використовують: основне, стартове удобрення та підживлення посівів, що впливає на собівартість кінцевого продукту – сировини. У зв'язку з окресленою проблемою, виникає потреба вирішення питання зменшеного обсягу використання синтетичних мінеральних добрив за рахунок залучення природного азоту до живлення рослин енергетичних культур. В цьому випадку найпростішим способом є використання атмосферного азоту, який здатні фіксувати бобові культури. Попередні дослідження підтверджують цю гіпотезу. Так, науковці [72] визначили ефективність використання кетч-культур у мобілізації, довготривалому утриманні в біомасі елементів живлення, які без цих культур легко вимиваються із ґрунту, особливо після відмирання та збору основної культури. Автори наводять переваги люпину за сумісного вирощування із енергетичними культурами: додаткове азотне живлення основної культури, біогербіцидний екран, що пригнічує ріст і розвиток бур'янів, та якісний горизонтальний дренаж для ґрунтів та ін.

Визначено, що ґрунт є найбільшою системою органічного вуглецю наземних екосистем на Землі, яка сильно взаємодіє зі складом атмосфери, кліматом і ґрунтом [73]. Складовою частиною будь-якого ґрунту є органічна речовина – комплекс біомаси і рослинних залишків, тварин, мікроорганізмів і продуктів їх метаболізму.

Визначено, що зберігання органічного вуглецю (С) в ґрунті залежить від балансу між прибутками та втратами С [74]. Біотичні характеристики, такі як виробництво біомаси та чисельність мікроорганізмів, середньорічні опади і температура, характеристики ґрунту, включаючи текстуру та літологію і антропогенну діяльність, як землекористування та управління, впливають на процеси зберігання органічного карбону або його втрати.

Обґрунтований менеджмент ґрунтовим органічним вуглецем (SOC) є визначальним для родючості ґрунтів і для пом'якшення та адаптації до зміни клімату, особливо в схильних до опустелювання територіях [75].

Знання про те, як методи управління впливають на доступність поживних речовин для росту трав'яних багаторічних культур, що є ключовою функцією ґрунтового органічного карбону, у різноманітних керованих агро-екосистемах обмежена [76]. Також не в повній мірі удосконалено менеджмент технології вирощування світчґрасу [77].

За результатами досліджень авторів встановлено, що у сумісних посівах рослин світчґрасу, на фоні підвищення вмісту органічної речовини в ґрунті, такі посіви характеризувалися суттєво більшим рівнем урожайності біомаси порівняно із змішаними та одновидовими [78]. Виявлену закономірність можна пов'язати із збільшеним вмістом органічної речовини у ґрунті, під сумісним посівом, у порівнянні з одновидовим. Ця теза підтверджується попередніми даними, отриманими зарубіжними авторами [79].

У світовій практиці, на сьогодні, вважається перспективним культивування травосуміші. Так, особливу увагу приділяють тому, що культивування сумішей трав т.зв. «теплого сезону» є природнім; енергетичні культури, водночас можуть бути як целюлозною сировиною, для виробництва біопалива, так і в якості культур, що використовують задля збереження або покращення якості ґрунту та навколишнього середовища [80].

Великий загальний дослід з селекції, вивчення кліматичних умов, впливу умов підживлення тощо, у посівах світчґрасу з біг блуестемом, з метою покращення сталості виробництва біомаси для перетворення її на біоенергію почалася в 1992 році й досліджувалося протягом 30 років [81]. Метою цього дослідження було розробити платформу для єдиного регіонального тестування сортів і експериментальних популяцій цих видів, а також) оцінити здобутки, досягнуті культивуванням в періоди 1992–2012 рр.

Загалом 25 популяцій світчграсу та 16 популяцій Біг-Блюестему було висаджено в однорідних регіональних випробуваннях у 13 місцях у 2012 та 2014 роках.

Значний прогрес у напрямку збільшення врожайності біомаси був досягнутий у Біг-Блюестем в популяціях гірського екотипу, популяціях низинного екотипу та гібридних популяціях Світчграсу.

При дослідженні задіяно чотири механізми, що впливають на підвищення врожайності біомаси:

- збільшення врожайності біомаси як такої,
- продовження періоду цвітіння для продовження вегетаційного періоду,
- поєднання більш пізнього цвітіння низинного екотипу з виживанням високогірного екотипу в популяціях, отриманих від гібридів;
- збільшення виживання пізньоквітучих низинних популяцій у зонах зимостійкості, що є розширенням зони їхньої природної адаптації.

Світчграс продемонстрував усі чотири механізми в одній або кількох покращених популяціях, тоді як покращені популяції біг блуестему, ймовірно, зазнали впливу двох із чотирьох механізмів. Уніфікована програма тестування була успішною для документування збільшення врожаю біомаси, виявлення механізмів збільшення врожаю та визначення характеристик адаптації та обмежень покращених популяцій.

В Північній Америці, на сьогодні, існує біля 12 дослідних програм розведення світчграсу, направлених суто на врожайність біомаси, в той же час біг блуестему було приділено мало уваги, а селекційна робота для біоенергетики проводиться переважно двома програмами розведення, по одній у Небрасці та Вісконсіні.

Світчграс та біг блуестем, на території Північної Америки, вважаються основними компонентами багатовидових сумішей, яка використовується для виробництва біомаси, а також для збільшення різноманітності ландшафтних фітоценозів [80, 81].

Однією з характерних рис багатьох щорічних програм покращення врожаю є існування єдиної програми тестування сортів-кандидатів. Не існує такої програми для фуражних культур або біомаси, але час від часу проводяться спеціальні або обмежені термінові дослідницькі проекти, призначені для задоволення цієї потреби.

Як світчграс так і біг блуестем є широко адаптованими до різних кліматичних зон і мають велике поширення від Канади до Мексики та від Великих рівнин до Атлантичного узбережжя [81], але слід зазначити, що окремі популяції обох видів, як правило, добре пристосовані лише до трьох кліматичних зон стійкості, як правило, це кліматичні зони їх походження плюс ще одна на північ і південь.

Особливість пізнього цвітіння південних популяцій дозволяє повніше використовувати вегетаційний період і використовується як механізм збільшення врожайності біомаси в обох видів [80, 81].

Крім того, визначено, що характеристикою, що суттєво вплинула на врожайність була доступність вологи, і рослини можуть створювати різні адаптації в градієнтах схід-захід для обох видів [82].

Пов'язаність генотипу і кліматичних умов визначено важливим фактором для обох видів, за трьома факторами середовища: температурою, фітоперіодом і вологістю.

З метою вивчення впливу підживлення при вирощуванні травосумішей, в кліматичних умовах, що є подібними для України, розглянута робота, яка присвячена врожайності біомаси трава в теплу пору року під впливом застосування азотних добрив в Канаді (штат Онтаріо) [83].

Метою цього дослідження була оцінка реакції різних сортів ні внесення азотних добрив на виробництво біомаси багаторічних трав прерій в сумісному посіві. Два сорти світчграсу, два сорти біг-блуестема і один сорт сорговника поникаючого були висіяні в 2009 році в східному Онтаріо, на маргінальні ґрунти, з метою оцінки їх потенціалу врожайності біомаси. Культури висівали в мулистому-суглинковий ґрунт, без додавання добрив в перший рік вегетації.

На третій рік вегетації відокремили ділянки, з метою контролю, а до інших внесли азотні добрива з розрахунку 50 кг азоту на га⁻¹.

Результат дослідів підтвердив, що, при низьких витратах на культивування і маргінальних ґрунтах, світчграс, біг-блюестем та сорговник поникаючий показали врожайність сухої маси, порівняну з врожайністю, якої вони досягають в природній зоні (місцевості) вирощування цих трав.

Врожайність біомаси світчграсу перевищила урожайність біг-блюестему та сорговника поникаючого, особливо в перші 2 роки з моменту закладення ділянок.

В період дослідів, підтвердився вплив посушливих кліматичних умов (екстремально посушливим був 2012 рік), який зменшив врожайність світчграсу, і майже не вплинув на врожайність біг-Блюестему та сорговника поникаючого.

Істотний вплив на урожайність біомаси за рахунок застосування азотних добрив було зафіксовано для сортів біг-блюестему і сорговника поникаючого, але майже не вплинула на урожайність сортів світчграсу.

Слід зазначити, що застосування азотних добрив збільшило рівень поглинання листя, та індекс площі листя для всіх випадків.

Отже, з екологічної та енергетичної точок зору, як звичайні так і малопоширені енергетичні культури відіграють важливу роль.

1.4. Особливості виробництва біопалива та продуктів із доданою вартістю із біомаси енергетичних культур.

Комплекс заходів і питань розробки прикладних систем різної складності дозволить оцінити енергоефективність виробництва енергетичних культур в аграрних і переробних підприємствах. При цьому враховують наявний потенціал територій громад у наявних відновлюваних джерелах енергії. В свою чергу, необхідність всебічної оцінки технологій виробництва альтернативної енергії має важливе значення. Адже, це дозволить обрати

оптимваріант раціон використання природних, матеріальних ресурсів. Що сприятиме сталому виробництву енергії та здешевить її продукування в Україні [84].

На рис.1.8. надано графічне представлення кінцевих продуктів переробки і біоконверсії біосировини і галузей застосування таких продуктів.



Рис. 1.8. Застосування біосировини за глибиною переробки

На нижньому щаблі піраміди знаходиться виробництво твердих біопалив. Це найбільш доступний ресурс, що має порівняно спрощену технологію перетворення. Вище – знаходяться дещо складніші технологічні процеси. В результаті виробництва отримують рідкі та газоподібні продукти. Більш складний рівень – третій. Тут виробляють целюлозу, хіміко-термічну й механічну масу, а з неї папір та пакувальні матеріали. Вище, за ієрархією йдуть продукти медичного призначення. Більш складним технологічним процесом виробництва характеризується продукція для складних хімічних процесів, виробництво водню. Вищий щабель виробництва – це військово-промисловий комплекс (ВПК), виробництво нітроцелюлози, компонентів

вибухонебезпечних речовин.

Придатність біомаси енерокультур для перетворення в біопаливо може бути виміряна кількома показниками. Вони відображають вміст енергії, щільність сировини і легкість відновлення [85]. Ці властивості, в кінцевому підсумку, визначають як придатність і різноманітність потенційного кінцевого використання біосировини, так і її потенційну цінність як агропромислового ресурсу (рис.1.9).



Енергетичні
культури



Солома зернових
культур



Стебла кукурудзи



Стебла соняшнику



Лушпиння
соняшнику



Деревна тирса



Деревна тріска



Гілки та стовбури
дерев

Рис. 1.9. Види біомаси, яку використовують в якості сировини для отримання біопалив

Завдяки процесу рафінування біомаси (пелетування, брикетування), енергія, що накопичена у рослинній сировині, значно ущільнюється. У результаті такого процесу отримується біопаливо з підвищеними енергетичними показниками. В ньому також відмічають мінімальний вміст показників зольності й вологості. В якості сировини для переробки можна застосовувати будь-які відходи деревини. Цінною теж є біомаса енергетичних рослин, в якості сумшок – відходи рослинництва (солома різних злаків, лушпиння соняшника, початки кукурудзи і т. ін.), торф. Теплотворна здатність пелет, в залежності від матеріалу, з якого вони виготовлялись, становить від 16,8 до 21,0 МДж/кг для деревини і 16,5 – 18,8 МДж/кг для соломи.

Типова схема заводу для виробництва паливних гранул наведена на рис. 1.10.

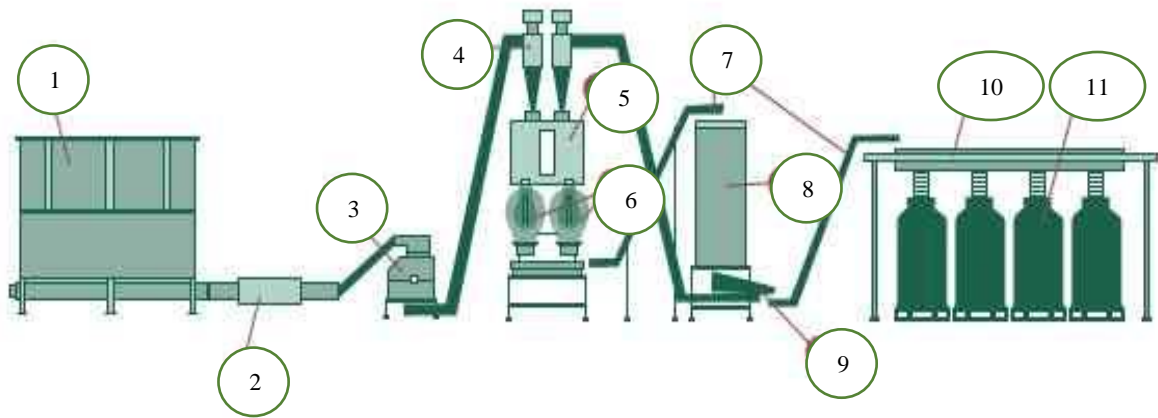


Рис. 1.10. Типова схема заводу по виробництву пелет:

1 – склад біосировини; 2 – сепаратор; 3 – молотковий млин; 4 – пневмотранспорт; 5 – бункер-накопичувач; 6 – прес-гранулятор; 7 – транспортер; 8 – колона-охолоджувач; 9 – вібрисито; 10 – лінія пакування; 11 – мішки типу “біг-бег”.

Процес виробництва пелет / брикетів складається з ділянок підготовки, сушки, гранулювання, охолодження та упаковки. На собівартість виробництва пелет і брикетів, окрім логістичних затрат впливають такі чинники, як: витрати на логістику, виробнича потужність підприємства, ступінь використання встановленої потужності щодо випуску біопалива. Отримання теплової енергії з біомаси базується на значній кількості різних технологій спалювання біомаси. Вони відрізняються за складністю, а відповідно, за вартістю технології та обладнання. При цьому відокремлюють ефективність процесу спалювання, що залежить від типу спалюваної біомаси або твердого палива з біомаси, екологічністю процесу і т. ін.

Біоенергетика загалом орієнтована на використання місцевих рослинних енергетичних ресурсів і можливостей територіальних громад. Тому країна, яка має у своєму енергетичному балансі значну питому вагу енергії, виробленої з біомаси, отримує найголовніше – енергетичну незалежність від світових тенденцій подорожчання викопних палив.

Окрім всього, впровадження об'єктів альтернативних джерел опалення дає цілу низку переваг. Це прогнозовані та стабільні тарифи на теплову енергію, збереження та створення нових робочих місць у комунальній сфері, розвиток місцевого бізнесу зі збору та транспортування біопаливної сировини, модернізація й оновлення морально застарілої та фізично зношеної комунальної інфраструктури. Нарешті, енергоефективні регіони мають значно більші можливості щодо залучення інвестицій на та соцпроекти.

Першою універсальною культурою з біоенергетичною сировиною для цілей переробки, за висновками авторів, був визнаний світчграс. Енергетична цінність світчграсу порівняна з енергією деревини зі значно нижчою початковою вологістю. Ранні аналізи відновлення етанолу в результаті ферментативного гідролізу, проведені Національною лабораторією відновлюваних джерел енергії (NREL), вказують на те, що біомаса світчграсу має відповідні властивості як сировина і дає високий вихід етанолу, використовуючи технологію одночасного оцукрювання та ферментації (SSF). Детальний аналіз вмісту золи та лужність біомаси світчграсу вказує на те, що він, як правило, має відносно низький вміст лугу і, відповідно, тверде паливо повинно мати низький потенціал зашлакованості в системах спалювання.

Як джерело волокнистого матеріалу для целюлози, світчграс має відносно високий вміст целюлози, низький вміст золи та хороше співвідношення довжини та ширини волокна, тому біосировину можна розглядати в якості заміни твердих порід деревини у виробництві високоякісного паперу [85].

З метою покращення показників біоконверсії проводиться вивчення хімічного складу енергетичних культур з метою селекції складових біомаси. Одним з завдань при дослідженні сортів світчграсу Cave-in-Rock, Alamo, NL 94 C2-2, NL 94 C2-3 та інших [86], виходячи зі складу біомаси, було отримання результатів найпридатнішого сорту для біоконверсії цукрових складових, за показниками найвищого вмісту вуглеводів та найнижчого вмісту лігніну. В результаті сорт SWG 2007-2 був визнаним найперспективнішим. В той же час,

висока урожайність біомаси сорту NL 94 C2-1, з найвищим загальним виходом вуглеводів на одиницю площі поля, компенсувала кількістю найнижчий загальний вміст вуглеводів.

Європейські стратегії щодо зменшення залежності від зовнішніх ринків енергопостачання та виробництва енергії спираються на використання лігноцелюлозної біосировини. Питання, пов'язані з способами збирання врожаю є найбільш впливовим етапом ланцюга постачання біосировини енергетичних культур, а пов'язані з цим показники та витрати мають бути враховані для надання конкретних спостережень та пропозицій щодо майбутнього впровадження [86]. Для збирання, транспортування й зберігання біомаси злакових енергокультур, рівень технологічної готовності агропромисловості є достатнім, жодних спеціальних засобів не потребується для збільшення масштабів вирощування. Всі види можна зібрати за допомогою парка існуючої техніки, без шкоди для продуктивності праці.

Важливим фактором, для переробки біомаси в кінцевий продукт, є також хімічний склад. В свою чергу, він залежить від початку процесу переробки, від тривалості і якості зберігання [88]. При зберіганні будь-якої біомаси на відкритому повітрі можуть відбуватися як кількісні, так і якісні зміни. На прикладі світчграсу [87] була зроблена оцінка впливу тривалого зберігання на якісні властивості енергетичних культур, від якої залежність якість біопалива. Два високогірні сорти світчграсу, Cave-In-Rock і Trailblazer, були зібрані, тюковані та зберігалися на відкритому повітрі під захисним брезентом. Проби кожного сорту відбиралися щомісяця протягом одного року. Раз в три місяці, реєстрували вологість на місці та оцінювали паливні властивості для визначення впливу на зберігання на сорти. Крім паливних властивостей, за перший і останній місяці зберігання були визначені параметри якості палива з індексами забруднення і зашлакованості, кислотність Na_2O .

Результатом було доведено зменшення зольності та збільшення кисню. Величина періоду зберігання істотно вплинула на вміст вуглецю; енергетична цінність також значно відрізнялася від 17,7 до 18,4 МДж/кг для обох сортів

світчграсу. Значні відмінності між сортами спостерігалися за вмістом золи, летких речовин, вуглецю, азоту та кисню. Визначені параметри якості палива показали, що сорт Cave-In-Rock зберіг вищу температуру горіння.

Особливу увагу приділяють якості біомаси, як сировини для біопалива. Показники якості, на сьогодні поділяються на обов'язкові і рекомендаційні [89]. Обов'язкові вимоги стосуються виробництва рідких видів біорідин, включаючи автомобільне біопаливо. Рекомендаційні – відносяться до виробництва електричної енергії, теплової енергії, когенерації та газоподібної біомаси. Обов'язкові критерії для вищезазначених видів палива видані у Директиві про стимулювання використання відновлювальних джерел 2009/28/ЄС [90] (Директива зі змінами 2015 року [91]) та Директива щодо якості транспортних палив 2009/30/ЄС [92].

Якість і сталість біомаси, що буде використаною в процесах подальшої переробки, рекомендується до сертифікації за програмою NTA 8080 (Sustainablebiomas scertification) – добровільна сертифікація сталої біомаси. Програму розроблено Нідерландським інститутом стандартизації (NetherlandStandardizationInstitute – NEN), є його власністю і дозволяє участь всіх сторін. В країнах ЄС, сертифікація видана на виконання вимог Директиви ЄС (ДВДЕ ЄС). Умови сертифікації такі, що NTA 8080 дозволено використовувати з метою сертифікації будь-якої сільськогосподарської культури у будь-якій країні. NTA 8080. Важливо зазначити, що NTA 8080 є стандартом, який застосовують до біопалива, як для транспорту, так і до електричної енергії, що виробляється з біомаси. Система сертифікації NTA 8080 охоплює весь ланцюг виробництва продукції з біомаси: виробників, переробників, трейдерів та кінцевих споживачів, які виробляють з біомаси види енергії або використовують в якості палива для транспорту.

В Україні вивчено технічні та технологічні пропозиції щодо виробництва різних біопалив й отримання енергії при спалюванні побічної продукції рослинництва [94]. Основними процесами подальшої переробки біомаси в кінцевий продукт по видах палива є (табл.) [94, 95].

Характеристика біопалив та способів їх переробки (узагальнено за [96])

Вид біопалива	Характеристика
Тверде біопаливо	Процес переробки сировини складеться з технології брикетування, гранулювання. Технології спалювання, газифікації та піролізу.
Рідке біопаливо (біоетанол, біометанол та біонафта)	Методи одержання, біохімічні процеси, що перебігають при одержанні рідкого біопалива за використання різних видів сировини.
Газоподібне паливо (біогаз).	Методи одержання та сировина. Види біореакторів та їх застосування в залежності від видів сировини. Біохімічні процеси, що відбуваються в процесах одержання біогазу та водню.
Газоподібне паливо (синтез-газ),	водночас виступає як базова органічна речовина для подальших процесів переробки, наприклад в біоводень, отримане процесом піролізу, гідролізу тощо

Узагальнена схема технологій перетворення енергії біомаси на основі біоконверсії та термоконверсії наведена на рис.1.11.

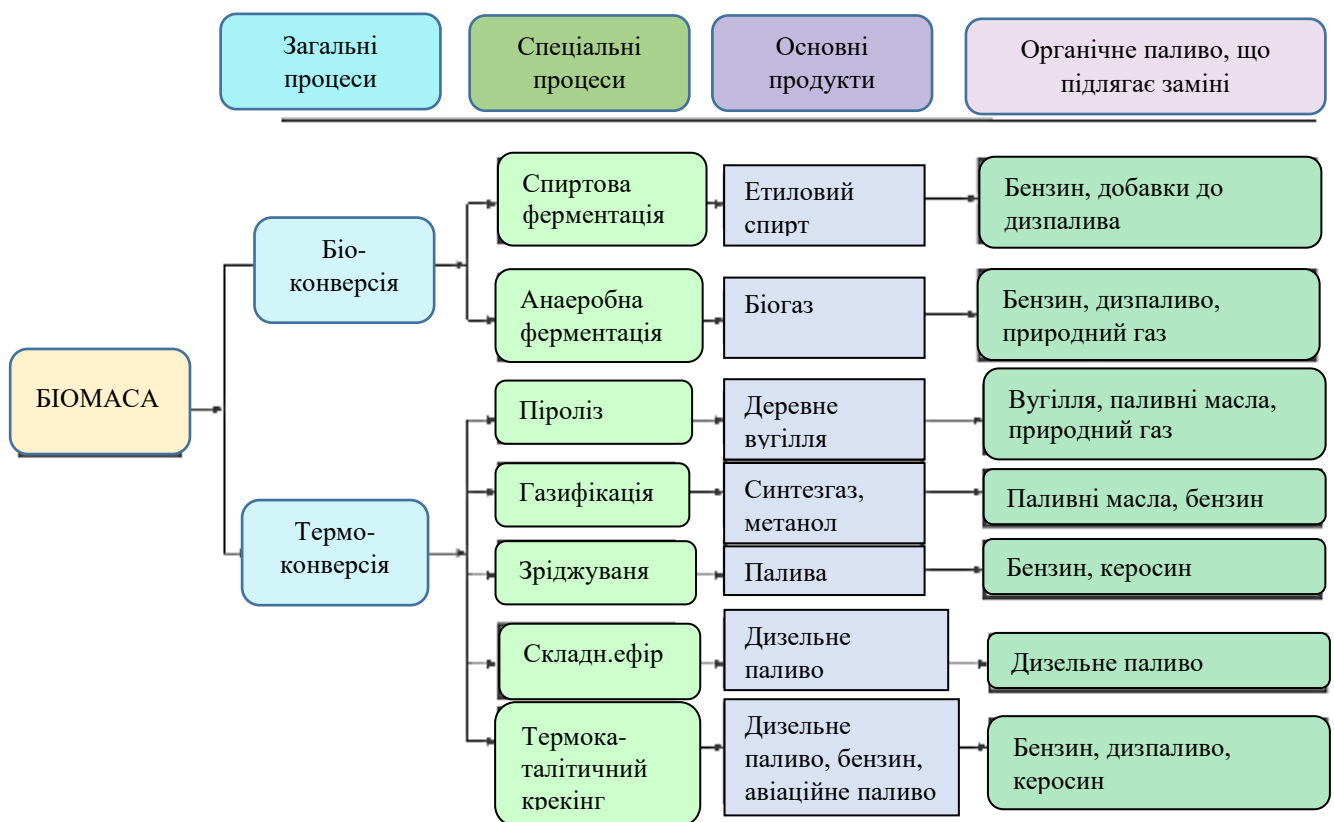


Рис. 2.10 Схема технологій перетворення енергії біомаси (узагальнено [97-99])

Ці технології переробки передбачаєть загальні і спеціальні процеси, отримання основних продуктів. Це такі, як органічне паливо, що є заміником традиційним видам палива [97, 100].

Сучасне теплогенеруюче обладнання можна умовно розділити на теплогенератори з автоматизованою або ручною й механізованою подачею палива в пічне обладнання. Кожен із них також поділяється на підтипи залежно від форми використовуваного біопалива: гранул, брикетів, тюкованої соломи, деревної тріски, подрібнених первинних агровідходів. До тогож у кожному з підтипів біокотлів окремо виділяють можливість використання соломи в якості біопалива, у зв'язку з її специфічним хімічним складом, який потребує певних конструктивних особливостей теплогенератора для успішного отримання енергії. Варто зазначити, що зазвичай біокотли, призначені для спалювання соломи, можуть використовувати будь-який інший вид твердого біопалива [100].

Класично процес вироблення енергії за допомогою таких енергоустановок організують наступним чином [101]: поруч із котлом влаштовують спеціальний бункер-накопичувач твердого біопалива, який з'єднуються з паливним дозатором котла, системою шнекових або пневматичних паливоводів. Тверде біопаливо доставляють вантажним або іншим зручним транспортом і вивантажують безпосередньо в бункер. Об'єм бункера залежить від потреб споживача, умов доставки та інших обставин, але рекомендується передбачати оперативний запас не менше ніж на три доби роботи котельного устаткування. У результаті завантажене в бункер біопаливо поступово потрапляє на транспортер, який переміщує його в паливоподачу котла.

Одними з найважливіших показників якості біомаси, особливо при оцінці властивостей твердого палива, є вміст целюлози, лігніну, концентрація зольних елементів і вологість [102]. Так високий вміст целюлози і низький вміст золи підвищує ефективність біопалива, в той же час високий вміст вологи її зменшує. Дослідження біоенергетичного потенціалу трав'яних

фітоценозів України [103], підтвердило, що такі фітоценози мають економічно доцільний енергетичний потенціал.

Одним з перспективних напрямків використання біосировини є виробництво деревного вугілля – біочару [104], при чому в процесі виробництва, автори вказують на можливість одночасного отримання енергії в когенерації.

В останні роки, набуває перспективи використання біомаси в якості сировини для виробництва т.зв. «зеленої» продукції: отримання синтез-газу [105] та продуктів його подальшої переробки, таких як метанол [106–108], етанол [109, 110], виробництва «зеленого» водню [111, 112], аміаку тощо.

Висновки до розділу:

1. Енергетичні культури, що використані для дослідження мають різне походження та певні акліматизаційні властивості, що проявляється в їх біологічних особливостях та пристосувальних реакціях за вирощування в умовах Степу і Лісостепу України.

2. Усі енергетичні культури, що поставлені на вивчення: посухостійкі, невибагливі до ґрунтово-кліматичних умов вирощування, стійкі до шкідників. Вони формують потужну кореневу систему, яка здатна забезпечити рослини водою та поживними речовинами. Що, в свою чергу має вплив на наростання надземної вегетативної біомаси й на формування потужного стеблостою. Результатом є знаний обсяг біомаси, що формується за рахунок врожайного потенціалу енергетичних культур.

3. Не в повній мірі, на сьогодні, вивченні агрозаходи за вирощування енергокультур на деградованих ґрунтах України. Потребують уточнення аспекти удосконалення технології вирощування у взаємозв'язку з біологією рослин та екологією довкілля.

4. Рослинна біомаса енергетичних культур – цінна сировина для різнопланових біопалив: рідких, твердих та газопоїдбних, цінна сировина для хімічної промисловості. Технології переробки сировини рослин вже відпрацьовані та налагоджені. При цьому необхідно враховувати якісні характеристики фітомаси енергетичних культур й прагнути до їх поліпшення.

Основні положення розділу опубліковано:

1. Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Переваги використання біомаси малопоширених енергетичних культур. Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку: збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції. (Полтава, 27 травня 2022). Полтава: ПДАУ, 2022. С. 54–56. [113]

2. Дьомін Д. Г., Дековець В. О., Кулик М. І. Енергетичні культури:

перспективні напрями використання біомаси. Лікарське рослинництво: від досвіду минулого до новітніх технологій: матеріали X міжнародної науково-практичної конференції. (Полтава, 21–22 листопада 2022 р.). Полтава: Полтавський державний аграрний університет, 2022. С. 63–64. [114]

3. Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Екологічні чинники та потенціал біомаси за вирощування малопоширених енергетичних культур. Хімія, Біотехнологія, Екологія та Освіта: Збірник матеріалів VII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Полтава, 17-18 травня 2023 року). Полтава, 2023. С. 313–314. [115]

4. Kulyk Maksym, Dekovets Vitaly, Rozhko Iona, Demin Dmitry, Onoprienko Alexander. The role of innovations in the development and management during the optimization of cultivation technologies of industrial crops in the post-coronavirus world. The role of information and technology in the construction of the post-coronavirus world : Monograph / Edited by Magdalena Gawron-Łapuszek, Andrii Karpenko. Katowicach (Polska): Publishing House of Katowice School of Technology, 2020: 173–185. ISBN 978-83-957298-5-0 [116]

5. D'omin Dmytro, Kulyk Maksym, Rozhko Iona. Agroecological fundamentals of creation of artificial phytocenoses of energy crops for recultivation. Innovative Approaches to Ensuring the Quality of Education, Scientific Research and Technological Processes: Series of monographs 43 Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied Arts Katowice School of Technology /Edited by Magdalena Gawron-Łapuszek Yana Suchukova. Publishing House of University of Technology, Katowice, 2021 : 1035–1041. ISBN 978–83–957298–6–7 URI: <https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/10363> [117]

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Ґрунтово-кліматичні умови

Польові досліді відповідно теми, що проведені в період 2018–2023 років з урахуванням різних ґрунтово-кліматичних умов Степу і Лісостепу.

Умови Степу.

Польовий дослід проводився в умовах Степу в межах Дніпровського району Дніпропетровської обл.

Дніпропетровська область характеризується помірно-континентальним кліматом з середньорічним розподілом температур практично широтного напрямку. Температури зимового періоду змінюються з півночі на південь від $-6,2^{\circ}$ до $-4,0^{\circ}\text{C}$, літнього періоду від $20,5^{\circ}\text{C}$ до $22,0^{\circ}\text{C}$. Абсолютний максимум температури було зафіксовано на рівні 41°C ; абсолютний мінімум зафіксовано на рівні -38°C . Частота переходу температур на поверхні ґрунту через 0°C досягає від 10 до 15-16 разів на рік [118].

Величини сумарної сонячної радіації змінюються з півночі на південь від 4200 до 4400 МДж/м², радіаційний баланс – від 1800 до 1950 МДж/м², тривалість сонячного опримінення складає 2050–2150 годин на рік, сума активних температур вище 10°C – від 2700 до 3400. Тривалість вегетаційного (безморозного) періоду в середньому 185 днів на рік, з помітною тенденцією до його збільшення за останні роки [119].

Середньорічна кількість атмосферних опадів має максимум на північному сході Дніпропетровської області близько 550 мм., і зменшується у південно-західному напрямку до 450-500 мм. Найвологіший місяць – липень, найсухіший – березень. Влітку кількість опадів становить 80% річного обсягу, взимку опади у вигляді снігу більше випадають на сході регіону, ніж на заході. Відносна вологість повітря у липні зменшується у південно-східному напрямку від 66% до 62%, у січні становить 84-81%. В

Дніпропетровській області характерні посушливі періоди навесні та у першій половині літа та на початку осені, підсилені сухими вітрами – суховіями.

Відповідно до схеми агрокліматичного районування України, Дніпропетровська область знаходиться в межах посушливої, теплої зони. Кліматичні умови сприятливі для вирощування зернових, а саме озимої пшениці, ячменю, ярого ячменю, кукурудзи, проса, рису, зернобобових, також цукрових буряків, соняшнику, баштанних культур, овочівництва, м'ясо-молочного скотарства, свинарства тощо.

Погодно-кліматичні умови Дніпропетровщини сприяють як для розвитку сільського господарства, спорудження промислових об'єктів.

Ґрунтовий покрів Дніпропетровської області має зональний характер: на півночі ярко виражена смуга чорноземів звичайних глибоких середньо- та малогумусних пілувато-середньосуглинкових або пілувато-важкосуглинкових. На півдні області змінюють чорноземи звичайні пілувато-середньосуглинкові малогумусні на лесах з ділянками чорноземів звичайних середньогумусних [119].

Крайній південний захід займають чорноземи звичайні неглибокі малогумусні та чорноземи південні малогумусні та слабкогумусовані на лесах.

Окрім того, є пласт інтразонального типу ґрунтів, які зосереджені у поймах річок, зокрема найбільших – Дніпра та Самари. Ці пойми представлені лучно-чорноземними поверхнево-солонцюватими ґрунтами. На ґрунтах комплекс солонців, чорноземамів солонцюватих на важких глинах, лучно-чорноземні ґрунти в долині річки Дніпра, лучні солонцюваті ґрунти вздовж заплав Дніпра, Орелі і Самари, а також, дерновими оглеєними супіщаними та піщаними ґрунтами в межі річкових алювіальних пісків.

Реакція ґрунтового розчину чорноземних та лучночорноземних ґрунтів – нейтральна або слабколужна, солонцюватих ґрунтів – середньолужна, солонців - лужна.

Бонітет ґрунтів в Дніпропетровській області знижується з півночі на південь. Найвищою родючістю характеризуються чорноземи звичайні

середньогумусні, найнижчою – солонці. Родючість дерново-підзолистих ґрунтів дуже невисока, вони потребують поліпшення для сільськогосподарського використання, зокрема внесення органічних добрив.

У області висока частка ґрунтів високої родючості, виведених із господарського обігу внаслідок видобутку корисних копалин, зокрема залізних руд, а також відведення земель промислову та житлову забудову та транспортні комунікації.

В Дніпропетровській області велика інтенсивність сільського господарства, за цих обставин, багато ґрунтів є виснаженими, в наявності землі із порушеним та зруйнованим ґрунтовим покривом, техноземи, які потребують заходів відновлення та рекультивування [120].

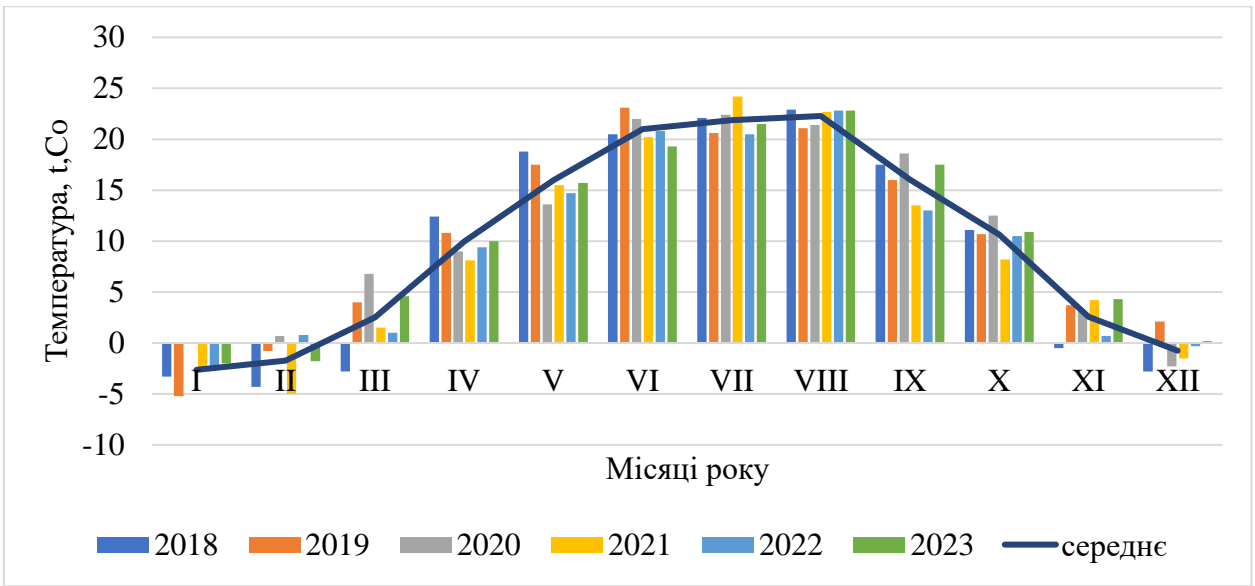
Загалом, територія Дніпропетровської області характеризується високою однорідністю придатності до господарського освоєння, виходячи з того, що несприятливі фізико-географічні процеси мають, середню або невисоку інтенсивність. Вони характеризуються також однорідність прояву по території області. Аdle слфд зауважити, що великий антропогенний тиск на природні умови в області перевищує допустимі норми, в декількох регіонах області в декілька разів, тож якість ґрунтів буде згодом зменшуватися, а технології потребують глибокої модернізації.

Досліди, що закладено і проведено в умовах північного Степу належать до Дніпровського району Дніпропетровської області розташовані на деградаційних ґрунтах (маргінальних землях) упродовж 2018–2023 років.

Ґрунтоутворююча порода – технозем. Ґрунти дослідних ділянок мали наступні характеристики, що відповідали визначенню «маргінальні»: вміст гумусу – низький – на рівні або нижче 2,8 %, лужно-гідролізованого азоту – 105,5 мг/кг ґрунту, фосфору – 114,6 мг/кг ґрунту, рН сольове становить 6,8.

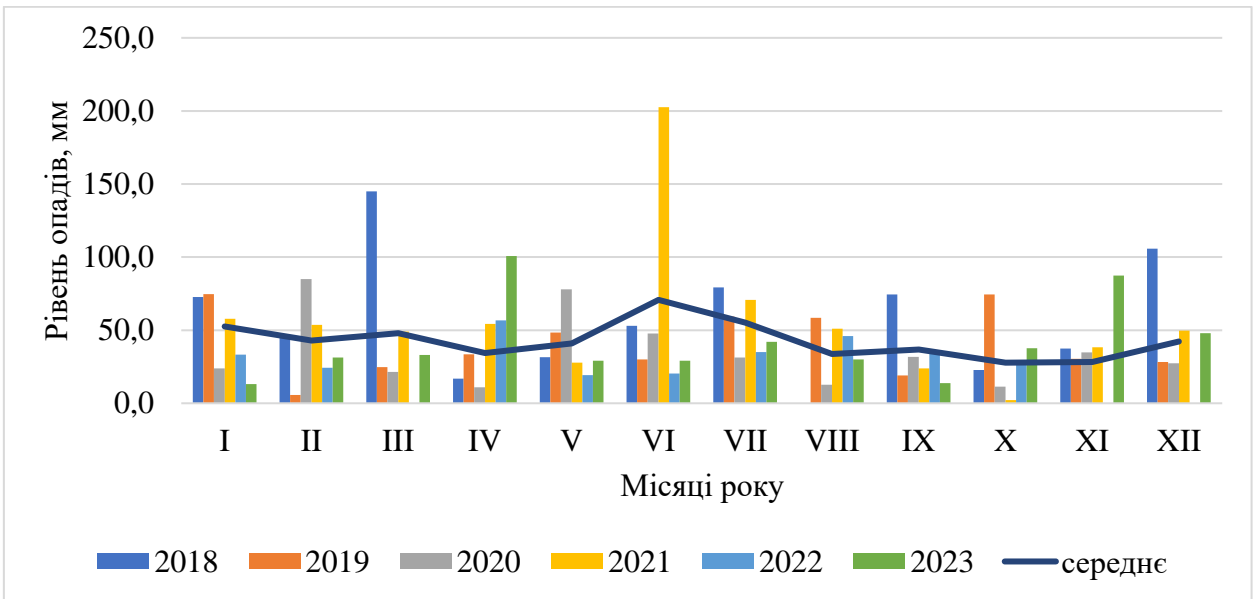
Кліматичні умови Степу за роки проведення досліджень.

Клімат Степу помірно-континентальний з недостатнім (нестійким) зволоженням, холодною зимою і жарким сухим літом. Період характеризувався нестійкими погодними умовами (рис. 2.1, 2.2)



**Рис. 2.1. Середньомісячна температура за 2018-2023 рр.,
Дніпропетровська обл.**

Протягом 2018-2023 років спостерігалось відхилення температури повітря від середньобагаторічних показників в умовах Степу. Відхилення від середнього значення температур у сторону збільшення відмічено у період квітень-червень 2018-2019 рр., а також березні і червні 2020 року та липні 2021 року, серпні 2022 року і серпні-вересні 2023 р.



**Рис. 2.2. Середньомісячна кількість опадів 2018-2023 рр.,
Дніпропетровська обл.**

В умовах Степу на протязі 2018-2023 років спостерігалось відхилення середньомісячної кількості опадів від середньобогаторічних показників. Надмірна кількість опадів відмічена у березні та липні-серпні 2018 року, а також у серпні та жовтні 2019 року. Найбільше значення за даним показником відмічали у травні 2020 року. Надмірне зволоження було у травні й червні та липні й серпні 2021 року, а також у квітні та серпні 2022 року. Збільшення опадів порівняно із середніми даними відмічали також у квітні 2023 року. Протягом періоду вегетації енергетичних культур, що вирощували в умовах Степу спостерігали й посушливі періоди, що припадали на весняні місяці 2018-2020 років та 2022-2023 років, нестачу опадів також відмічали у літні місяці 2018 і 2020 років та 2022-2023 рр.

Умови Лісостепу.

Польові експерименти дослідження проводилися в умовах Полтавської області. Ця територія належить до центральної частини України, зони Лісостепу. На ній представлена різна рослинність на різноманітних ґрунтах. За кліматом – це помірно-континентальний клімат. Загальна протяжність території із півночі на південь сягає 213,5 км, із заходу на схід – 245 км. С/г угіддя займають 75,3 %, що свідчить про аграрну спрямованість регіону; виробництво польових культур для отримання значного обсягу агропродукції. За виробництвом валової продукції сільського господарства Полтавська область займає III місце, за виробництвом зернових культур – II місце. За площею території – 7 місце в Україні (4,6 % площі) [118].

На сьогодні у Полтавській області налічується 53 види ґрунтів. З-поміж них найпоширеніші 12 агровиробничих груп. Це такі як: чорноземи, лучно-чорноземні, дерново-підзолисті, опідзолені, лучні, лучно-болотні, болоті, торфино-болотні, торфовища, дернові, солонці та солоді. Дані ґрунти вирізняються потужним гумусованим профілем (80–120 см). Він утворений завдяки рослинних решток, в поєднанні вологи та відмерлої рослинності лучних степів. В Полт обл. найчастіше зустрічаються чорноземи – 64 %. Механічний склад ґрунтів змінюється із Зх до ПнСх – з легкосуглинкових до

важкосуглинкових, решта території – середньосуглинкові. Піщані та супіщані ґрунти розташовані у надзаплавній терасі річок. Середньогумусні відмінності чорноземів поширені на Сх від р. Ворскли. Малогумусні ґрунти – на Зх від р. Ворскла. На Полтавщині зустрічається близько 8 типів ґрунтів. Ґрунтовий покрив області залежить від існуючого рельєфу. Окрім того, Лісостепова зона Полтавської обл. вирізняється від інших великоюророзораністю. В ній наявні близько третини площ земель, що піддаються обробітці для с/г агровиробництв, наявні засолені ґрунти. Такі солонці найбільш зустрічаються на Пд області, що свідчить про близьке залягання ґрунтових вод. Більшість ґрунтів області забезпечені поживними речовинами. До них відносять: гумус та основні мінеlementи (азот, фосфор, калій). Останні мають значний вплив на ріст й розвиток рослин, в т.ч. і енергокультур. Ґрунти Полтавської області (близько 49,2 %) мають середній вміст гумусу, з них – значний відсоток (37,5 %) – підвищений. Середньо- та високородючі ґрунти з усієї площі становлять від 0,7 до 10,5 % територій, середнє значення за даним показником досягає 3,33 %. Кількість мікроelementів у ґрунтах Полтавщини – достатня. Вони мають дефіцит у цинку, середньозабезпечені міддю та марганцем та достатньо забезпечені бором [119].

Водночас, в Полтавській області відмічаються негативні ґрунтові процеси. Вони впливають на родючість та структурованість ґрунтів, зменшуючи ці показники щорічно. Основними факторами зниження ґрунтового гумусу – це антропогенна дільність, а також: ерозія, інтенсивна мінералізація органічними речовинами, надмірне винесення з урожаєм культур. На зниження родючості ґрунтів також впливають процеси деградації земель. С/г угіддя характеризуються слабо та середньо-дифляційними процесами. Виняток у цьому – Диканський район, який має сильну вітрову ерозію. Зниження родючості ґрунтів унаслідок ерозійних процесів поширене в Чутівському, Решетилівському та Карлівському районах. Встановлено, що 749 тис. га сільгоспугідь області піддаються водній та вітровій ерозій (18,3 % та 18,8 % відповідно до загальної площі). В Полтавській області значний

відсоток земель (64,2 %) за агрохімічною оцінкою належить до земель підвищеної якості (50–60 балів). Поряд з цим такі землі поступово знижують свою якість. Полтавська область входить до переліку умовно чистих земель. Що дає змогу виробляти на них органічні види продукції. [121]. Таким чином, ґрунтові умови є основою розвитку сільського господарства в галузі рослинництва

Значне значення у вологозабезпеченості території Полтавщини мають водні ресурси. Не випадково Полтавська область розташована на Придніпровській низовині на лівобережжі басейну річки Дніпро. Місцевість являє собою рівнину, що розподілена річковими долинами та ярами. Поверхні водойми займають 5,2 % загальної площі області [122]. Волога, що надходить до рослин у вигляді дощу є нерівномірним явищем. Бувать періоди посухи та значних злив, що можуть тривати кілька днів.

Таким чином, Полтавська область має розташування на території із сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами. Земельні ресурси мають агропоказники близькі до середніх або високих. Це зумовлює інтенсивний розвиток сільського господарства.

Досліди, що закладено і проведено в умовах південного Лісостепу територіально належать до Полтавської області розташовані на маргінальних ґрунтах упродовж 2018–2023 років.

Ґрунтоутворююча порода – польовий карбонатний лесовидний суглинок. Характеристика ґрунту – лучно-чорноземний намитий середньо-осолоділі ґрунти (западинний). Агрохімічна характеристика ґрунтів: вміст гумусу – низький, на рівні 2,7 %, лужно-гідролізованого азоту – 120,1 мг/кг ґрунту, фосфору – 86,5 мг/кг ґрунту, рН сольове становить 6,2.

Кліматичні умови Лісостепу за роки проведення досліджень.

Клімат Лісостепу помірно-континентальний з середнім (в деякі роки – недостатнім) зволоженням, холодною зимою і жарким, а, в деяких роках, сухим літом.

Період проведення досліджень в умовах центрального Лісостепу характеризувався нестійкими кліматичними умовами (рис. 2.3, 2.4.)

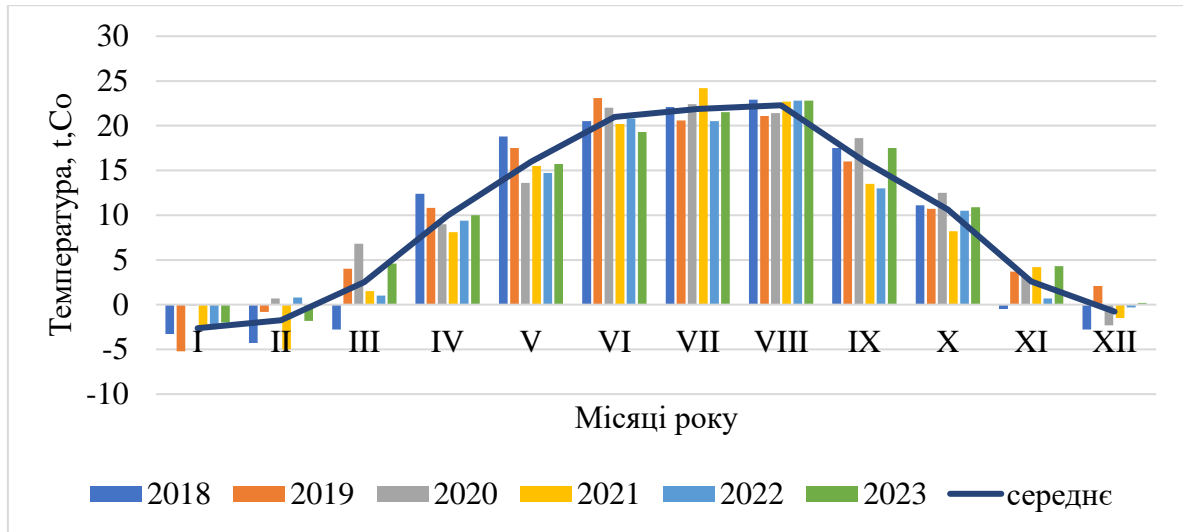


Рис. 2.3. Середньомісячна температура за 2018-2023 рр., Полтавська обл.

В умовах Лісостепу упродовж 2018-2023 років спостерігалось відхилення середньодобової температури повітря від середньобагаторічних показників. Ці відхилення у бік збільшення, порівняно із середніми фіксували у наступні періоди: березень-травень 2018 року, березні-червні 2019 року, березні та червні 2020 року, липні 2021 року, серпень 2022-2023 рр.

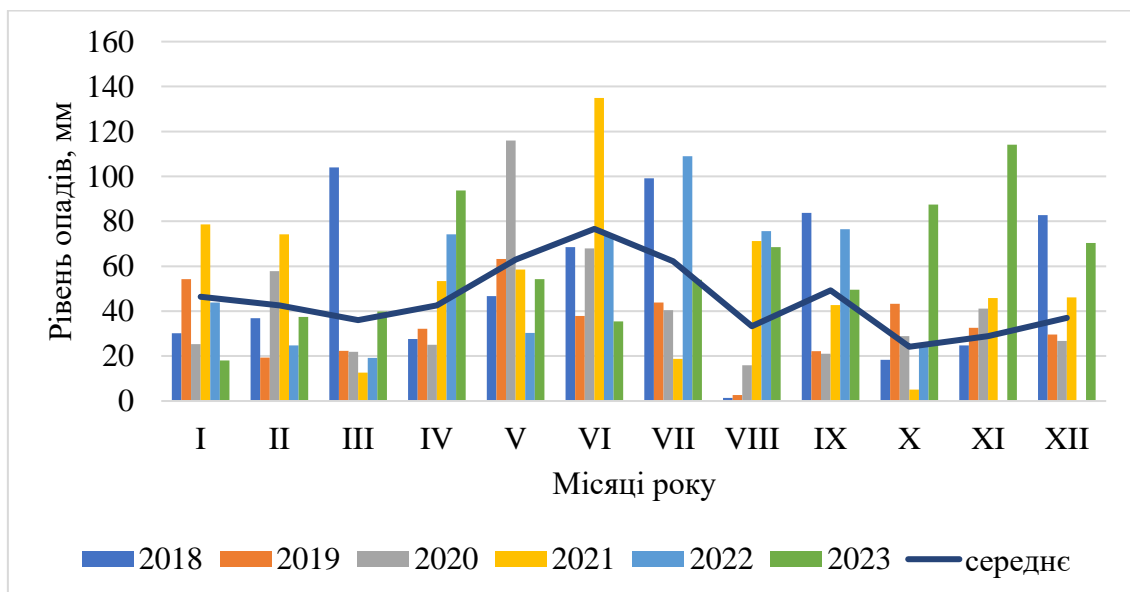


Рис. 2.4. Середньомісячна кількість опадів 2018-2023 рр., Полтавська обл.

Впродовж 2018-2023 років в умовах центрального Лісостепу відмічали відхилення середньомісячної кількості опадів від середньобаторічних показників. Надмірна кількість опадів зафіксована у квітні та літні місяці 2018 року, а також у червні та жовтні 2019 року. Найбільше значення за даним показником відмічали у квітні та червні 2020 року. Надмірне зволоження було у квітні та червні 2021 року, а також у квітні, червні, серпні та вересні 2022 року. Збільшення опадів порівняно із середніми даними відмічали також у квітні, серпні, жовтні-листопаді 2023 року. Протягом періоду вегетації енергетичних культур, що вирощували в умовах Лісостепу спостерігали й окремі посушливі періоди, що припадали на весняні місяці 2018-2019 років та частково 2022 рік, нестачу опадів також відмічали у літні місяці 2019-2022 років та 2023 року.

2.2. Програма та методика проведення досліджень

Метою досліджень було підвищення ефективності вирощування енергетичних культур (просо прутоподібне, сорго багаторічне, сорговник поникаючий (індіан-грас) та бородаж Жерара – біг-блюестем) на енергетичні цілі шляхом удосконалення елементів технології їх вирощування посівах як сировини для виробництва біопалива в різних зонах України.

2.2.1. Схеми проведення польових досліджень

Польові дослідження проводились впродовж 2018-2023 років у зонах недостатнього (нестійкого) зволоження північного Степу України (Дніпровського району Дніпропетровської області) та з середнім (в деякі роки – недостатнім) зволоженням південної частини Лісостепу (Полтавський район Полтавської області), рис. 2.5-2.6.



Рис. 2.5. Фотоматеріали дослідів в умовах північного Степу



Рис. 2.6. Фотоматеріали дослідів в умовах центрального Лісостепу

Експериментальні дослідження проводились за загальноприйнятими науковими, спеціальними агрономічними методами й затвердженими науковими рекомендаціями. Застосовували також методи математичної статистики для обрахунку та підтвердження достовірної різниці між варіантами дослідів та послідуочого ґрунтового аналізування одержаних результатів.

Наводимо детальний опис трьох польових дослідів, що були закладені в різних ґрунтово-кліматичних умовах України.

Дослід 1. Вплив умов вирощування на адаптивність, мінливість біометричних показників рослин, врожайність та якість біомаси енергетичних культур.

Дослід проводився за двофакторною схемою впродовж у зонах Степу і

Лісостепу України впродовж 2019-2023 років.

Площа посівної ділянки 50 м², облікової – 30 м², варіанти розміщували систематичним методом. Загальна площа дослідів – 0,36 га. Повторюваність дослідів – чотириразова. Дослід закладався за методом систематичних повторювань: в кожному повторенні варіанти дослідів розміщуються на ділянках рендомізовано.

Схему дослідів наведено табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Схема дослідів 1

Умови вирощування (Factor A)	Енергетичні рослини* (Factor B)
Степ Лісостеп	Sw
	Sa
	Bb
	Ig

*Примітка:

Sw – одновидові посіви проса прутоподібного,

Sa – одновидові посіви сорго багаторічного,

Bb – одновидові посіви Біг-блуестему,

Ig – одновидові посіви сорговника поникаючого.

Дослід 2. Вплив способів вирощування у фітоценозі на врожайність біомаси енергетичних культур в різних умовах.

Дослід проводився за трифакторною схемою впродовж 2018-2023 рр. у зонах Степу і Лісостепу України відповідно до загальноприйнятих наукових та спеціальних агрономічних методик досліджень.

Площа посівної ділянки була 50 м², облікової – 30 м², варіанти розміщували систематичним методом. Загальна площа дослідів – 0,36 га. Повторюваність дослідів – чотириразова.

Схему дослідів наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Схема досліду 2

Умови вирощування (Factor A)	Рік вегетації (Factor B)	Спосіб вирощування* (Factor C)
Степ Лісостеп	перший (2018-2020 рр.)	Sw
		Bb
	другий (2019-2021 рр.)	Ig
		третій (2020-2022 рр.)
четвертий (2021-2023 рр.)	Sw+Ig	
	Bb+Ig	

*Примітка:

Sw – одновидові посіви проса прутоподібного (варіант 1, контроль),

Bb – одновидові посіви Біг-блуестему (варіант 2, ум. контроль),

Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 3, ум. контроль),

Sw+Bb – сумісні посіви проса прутоподібного та Біг-блуестему (варіант 4),

Sw+Ig – сумісні посіви проса прутоподібного та індіанграсу (варіант 5),

Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блуестему (варіант 6).

Також в цьому досліді в умовах Лісостепу накладали весняне підживлення на ділянки різновидових посівів енергетичних культур, застосовуючи препарат Кристалон.

Дослід 3. Агроєкологічні особливості формування продуктивності сорго багаторічного при застосуванні препарату «Агростимулін».

Дослід проводився за двофакторною схемою впродовж 2019-2022 рр. у зонах Степу і Лісостепу України відповідно до загальноприйнятих наукових та спеціальних агрономічних методик досліджень.

Площа посівної ділянки 50 м², облікової – 30 м², , варіанти розміщували систематичним методом. Загальна площа досліду – 0,36 га. Повторюваність дослідів – чотириразова. Схему досліду наведено в табл. 2.3.

Схема досліду 3

Рік вегетації (Factor A)	Спосіб вирощування* (Factor B)
перший (2018-2020 рр.)	var.1
	var.2
другий (2019-2021 рр.)	var.3
третій (2020-2022 рр.)	
четвертий (2021-2023 рр.)	var.4

*Примітка:

var.1 (контроль) – без обробки,

var.2 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння,

var.3 – застосування Агростимуліну у позакореневій обробці посівів,

var.4 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння та при листовій аплікації.

Агротехнологія в дослідях.

Технологія вирощування енергетичних культур загальноприйнята для зон досліджень – відповідно наукових рекомендацій.

Попередником для усіх енергокультур було різнотрав'я, що зростало на цілинних землях.

Підготовка дослідних ділянок складалася з оранки ґрунтового профілю на 20-22 см, послідуєчого дискування, та літньо-осіннього культивування у міру з'явлення бур'янів.

Сівбу насіння проводили як вручну, так і за допомогою дрібнонасінневих сівалок «Amazone», з шириною міжрядь 45 см, з послідуєчим коткуванням посівів.

Сорти енергокультур, які були обрані для дослідів: сорти світчграсу 'Зоряне'; сорти сорго багаторічного 'Колумбо' і 'Парана', сорт сорговника поникаючого 'Bison', сорт Біг-Блюестему 'Americus'. Насінневий матеріал інтродукованих енергокультур був отриманий в рамках виконання міжн наук проекту «Pellets for power», сорти укр походження – від ориганторів. Насінн матеріал відповідав базовим показникам якості насіння для даних сортів.

Міжрядний обробіток проводився тільки на перший і другий рік вегетації по одновидових посівах культиватором КРН-5,6, міжрядний обробіток на сумісних посівах енергокультур не проводився.

Під час закладки досліду мінеральні добрива не застосовували в основне внесення та для підживлення посівів, окрім тих варіантів досліду де застосовували препарати 'Кристалон' та 'Агростимулін'. Дослід закладався методом систематичних повторювань: у кожному повторенні варіанти досліду розміщуються на ділянках рендомізовано або послідовно.

2.2.2. Методи проведення досліджень, спостережень, обліків та аналізування

За проведення досліджень застосовувались як загальнонаукові методи, так і спеціальні методи, в т.ч.:

- польовий – визначення взаємодії енергетичних культур з умовами вирощування;
- ваговий – визначення врожайності біомаси енергетичних культур;
- лабораторно-аналітичний – визначення показників якості біомаси, енергоємності біомаси енергетичних культур;
- розрахунковий – встановлення економічної та енергетичної ефективності виробництва біомаси енергетичних культур енергопродуктивності посівів енергетичних культур;

- математично-статистичний – для аналізу отриманих результатів досліджень (дисперсійний метод). Він полягав у визначенні суттєвої різниці між варіантами досліду згідно НІР при 5 % рівні значущості.

Вибір та закладення дослідних ділянок був проведений у відповідності методики дослідної справи в агрономії [123] за схемою дво- або трьохфакторного експерименту, з урахуванням рекомендацій щодо вирощування енергетичних культур [124–126].

Показники погодних умов за середньодобовою температурою повітря і щомісячною кількістю опадів фіксували впродовж кожного досліджуваного року для порівняння з середньобагаторічними показниками для кожної зони.

Обліки та спостереження за рослинами проводили згідно відповідних методик:

– стійкість рослин до умов навколишнього середовища та до вилягання посівів здійснювали відповідно до методик [127];

– фенологічні спостереження проводили відповідно до класифікації ВВСН (0 – поява сходів; 1 – поява трьох справжніх листків; 2 – кущення; 3 – вихід в трубку; 4 – стеблуння; 5 – поява волоті; 6 – цвітіння; 7 – воскова стиглість насіння; 8 – повна стиглість насіння; 9 – фізіологічна зрілість, 10 – закінчення вегетації);

– визначення норми сівби насіння в одновидових та сумісних посівах здійснювали відповідно формули:

$$N_{\phi} = \frac{A \cdot B \cdot D \cdot 100}{C \cdot 1000 \cdot 1000} ,$$

де: N_{ϕ} – фактична норма висіву, кг/га;

A – густина стояння рослин на 1 га;

B – коефіцієнт збільшення висіву насіння, який залежить від способу висіву і формування густоти стояння (з проріджуванням, чи без нього), а також від величини насіння (2 і 5 відповідно);

D – маса 1000 насінин, г;

C – фактична посівна придатність насіння, %;

– густоту стояння рослин визначали перед збиранням врожаю на закріплених ділянках (площею 1 м²) кожного варіанту у чотиразовій повторності в межах кожного повторення;

– висоту рослин відмічали на час закінчення вегетації шляхом поділянкового вимірювання мірною стрічкою у вибірці рослин обсягом 50 шт.;

– вміст золи в рослинному матеріалі визначали спалюванні органічної речовини при вільному доступі повітря. При цьому вуглець, водень і частково кисень випаровуються у вигляді вуглекислоти й парів води і залишаються лише мінеральні елементи у вигляді окисних з'єднань;

– показники якості біомаси: вміст сухих речовин у стеблах, вміст целюлози, геміцелюлози й визначали відповідно методик [128-130];

– облік шкідників й хвороб у всіх дослідах не проводився, оскільки їх визначення, не входило в завдання даної роботи. Проте, слід зазначити, що при візуальних обстеженнях прояви хвороб й ураження шкідниками на всіх дослідах не було виявлено.

– облік врожаю біомаси проводили поділяночно в кожному повторенні шляхом скошування біомаси, її зважування. Після висушування визначали вміст сухої речовини в ній [131].

Лабораторні дослідження проводились в сертифікованій науковій лабораторії агроекологічного моніторингу Полтавського державного аграрного університету.

Економічну ефективність визначали відповідно авторської методики [132]. Енергетичну ефективність виробництва біомаси з урахуванням її енергоємності та енергопродуктивності посівів енергетичних культур розраховували відповідно методик [133-134].

Статистичний обрахунок даних дослідження здійснювали відповідно методичних вказівок [135].

2.3. Характеристика препаратів застосовуваних в дослідях

Наводимо детальний опис препаратів, що застосовували у дослідженнях.

Характеристика хелатного препарату Кристалон.

У другому досліді використовувався хелатний препарат «Кристалон особливий» для позакореневого підживлення посівів енергетичних культур (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Особливості застосування препарату Кристалон особливий

Зовнішній вигляд	Особливості застосування
	<p>Препарат відповідає регламентованим нормам.</p> <p>За одне внесення витрачається 2-5 кг/га.</p> <p>Мінеральне добриво Кристалон 18-18-18 можна використовувати в бакових сумішах з пестицидами і карбамідом з розрахунку 5-15 кг/га.</p> <p>Обробку зернових проводять у фазу куціння.</p> <p>Допускається від 2 до 6 підживлень.</p> <p>Витрата води – 300-600 л/га.</p> <p>Об'єм робочого розчину – 200-300 л/га.</p>

Кристалон особливий (Kristalon Special 18-18-18) – водорозчинне азотно-фосфорно-калійне добриво, містить збалансовані елементи живлення для рослин (макро-, мікро- і мезоелементи). До його складу входить сечовина для швидкого і безпечного поглинання азоту через поверхню листя. Не містить нерозчинних і фітотоксичних речовин. Володіє низьким значенням ЕС.

За фізичними властивостями препарат являє собою однорідний, сипучий, не утворює пилу, не злежується, має свій колір для легкої ідентифікації. Комплексне добриво Кристалон застосовують для листкового

підживлення усіх польових культур, підходить для будь-яких типів ґрунтів незалежно від температурного чинника.


Переваги: стимулює розвиток кореневої системи, забезпечує культури додатковими поживними речовинами в різні фази розвитку, підвищує швидкість росту й розвитку рослин. Також препарат сприяє підвищенню стійкості рослин до грибкових та бактеріальних захворювань, а також компенсує недолік поживних речовин в період несприятливих умов [136].

Характеристика біологічного препарату Агростимулін.

У третьому досліді використовувався біологічний препарат «Агростимулін» для передпосівної обробки насіння та внесення у позакореновому підживленні по вегетації посівів сорго багаторічного (табл. 2.5). [137-138]

Таблиця 2.5

Особливості застосування препарату Агростимулін

Зовнішній вигляд	Особливості застосування
	<p>Препарат відповідає ТУ У 88.264.037-97. Діючою речовиною препарату є природні фітогормони в композиції з 2,6-диметилпіридин-1-оксиду – 26 г/л і біогенних мікроелементів (Zn, Cu, Mn, Mg, Ca, Fe, Na, K).</p> <p>Препарат застосовують для кореневого та позакореневого підживлення посівів.</p> <p>Для передпосівної обробки насіння всіх культур: 25 мл/т (робочого розчину – 10 л/т); для обприскування посівів: 20 мл/га.</p>

Препарат Агростимулін рекомендований до застосування в технологіях вирощування пшениці, ячменю, ріпаку, кукурудзи, сорго, сої, гречки, гороху,

льону, конюшини, люцерни для передпосівної обробки насіння і позакореневого підживлення рослин у період вегетації.

Відповідно до Дсанпін 8.8.1.002-98 препарат відноситься до нетоксичних речовин [138].

2.4. Характеристика сортів енергетичних культур

Характеристики сортів енергетичних культур, що використовувалися в даній роботі наведені нижче (табл.2.6). Відзначимо, що сорти для дослідження були підібрані по близькому екотипу, термінах дозрівання біомаси.

Таблиця 2.6

Характеристика сортів енергетичних культур, використаних в дослідженні

Світчграс (<i>Panicum Virgatum L.</i>) [139]	
Найменування сорту	'Зоряне'
Походження	Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків
Країна реєстрації	UA
Екотип	височинний
Плоїдність	октаплоїд
Термін дозрівання	середньо-пізній
Біг-Блюестем (<i>Andropogon Gerardii Vitman</i>) [140]	
Найменування сорту	'Bison'
Походження	Північна Америка
Країна реєстрації	USA, штат Північна Дакота USDA NRCS Plant Materials Program
Екотип	височинний
Плоїдність	октаплоїд
Термін дозрівання	середньо-пізній

Сорговник поникаючий (<i>Sorghastrum Nutans (L.) Nash</i>) [141, 142]	
Найменування сорту	'Americus'
Походження	Північна Америка
Країна реєстрації	USA, USDA-NRCS, J.Carter Plant Materials
Екотип	височинний
Плоїдність	октаплоїд
Строк дозрівання	середньо-пізній
Сорго багаторічне (<i>Sorghum Almum Parodi</i>) [139]	
Найменування сорту	'Колумбо'
Країна походження	Україна
Країна реєстрації	Україна, КНБС ім. Гришка
Екотип	-
Плоїдність	октаплоїд
Строк дозрівання	середній
Сорго багаторічне (<i>Sorghum Almum Parodi</i>) [139]	
Найменування сорту	'Парана'
Країна походження	Україна
Країна реєстрації	Україна, КНБС ім. Гришка
Екотип	-
Плоїдність	октаплоїд
Строк дозрівання	середній

Сорти, застосовувані вдосліді мають високі адаптивні властивості, стійкі до шкідливих організмів, мають майже однаковий термін дозрівання та строк закінчення вегетації.

Висновки до розділу:

1. Динаміка погодних умов упродовж 2018-2023 років для місць проведення досліджень мала окремі відхилення у весняно літні-періоди від середніх багаторічних показників. Це стосується як температурного режиму, так і кількості опадів, що дозволило провести комплексну оцінку адаптивності енергетичних рослин.

2. Програма та методика проведення польових і лабораторних досліджень відповідає методикам дослідної справи в агрономії. Результати досліджень проаналізовані методами математичної статистики, достовірність отриманих даних підтверджується 5%-им рівнем значущості, істотні різниці між варіантами – $HP_{0,05}$. Визначення взаємозалежності між кількісними показниками проведено кореляційно-регресійним аналізом із визначенням коефіцієнтами апроксимації та детермінації, описані рівняннями регресії. Статистичну обробку отриманих результатів досліджень здійснено за допомогою описової статистики, дисперсійного, кореляційного та регресійного методів з використанням комп'ютерних програм *Statistica* та *Excel*.

3. Обліки та спостереження, що застосовували у дослідях проводили відповідно до наукових методик, ДСТУ, затверджених методичних та наукових рекомендацій.

4. Препарати, що застосували у дослідях 2 і 3 є зареєстрованими в Україні, містять необхідні елементи живлення для рослин, сприяють підвищенню їх врожайності, не шкідливі для умов навколишнього середовища.

5. Сорти енергетичних культур, що поставлені на вивчення – зареєстровані, наявні інтродуковані форми. За господарсько-цінними ознаками сортимент енергокультур відповідає потребам виробників біопалив України.

РОЗДІЛ 3
ВПЛИВ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ НА АДАПТИВНІСТЬ,
МІНЛИВІСТЬ БІОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОСЛИН,
ВРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ БІОМАСИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

3.1. Адаптивні властивості енергетичних культур

Адаптивні властивості всіх енергетичних культур, як і зазначалося вище у розділі 1, є високими. У зв'язку з чим, наші дослідження підтвердили думку інших авторів щодо комплексної стійкості енергетичних культур до зовнішніх чинників середовища (табл. 3.1, рис. 3.1-3.3).

Таблиця 3.1

**Адаптивні властивості енергетичних культур відповідно до умов
 вирощування, 2019-2023 рр.**

Умови вирощування (Фактор А)	Енергетичні культури (Фактор В)	Посухо-стійкість, балів	Морозо-стійкість, балів	Стійкість до вилягання, балів	Загальна стійкість, бали
Степ	Sw	8,9	9,5	7,0	8,5
	Sa	9,5	8,2	6,4	8,0
	Bb	8,8	8,5	8,8	8,7
	Ig	9,8	9,5	8,9	9,4
Лісостеп	Sw	8,4	9,2	5,5	7,7
	Sa	9,4	7,8	5,2	7,5
	Bb	8,2	7,8	8,5	8,2
	Ig	9,5	9,6	8,9	9,3

Примітка:

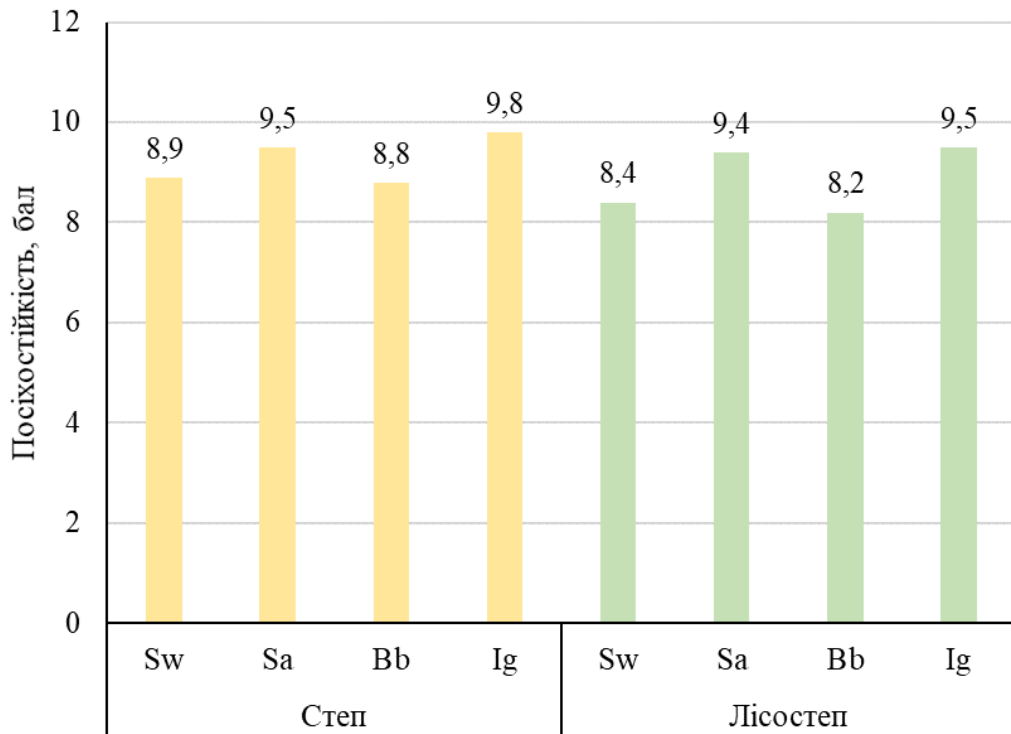
Sw – одновидові посіви проса прутоподібного,

Sa – одновидові посіви сорго багаторічного,

Bb – одновидові посіви Біг-блуестему,

Ig – одновидові посіви сорговника поникаючого.

За результатами проведених багаторічних досліджень визначено, що умови вирощування енергетичних культур впливають на їх посухостійкість (рис. 3.1).



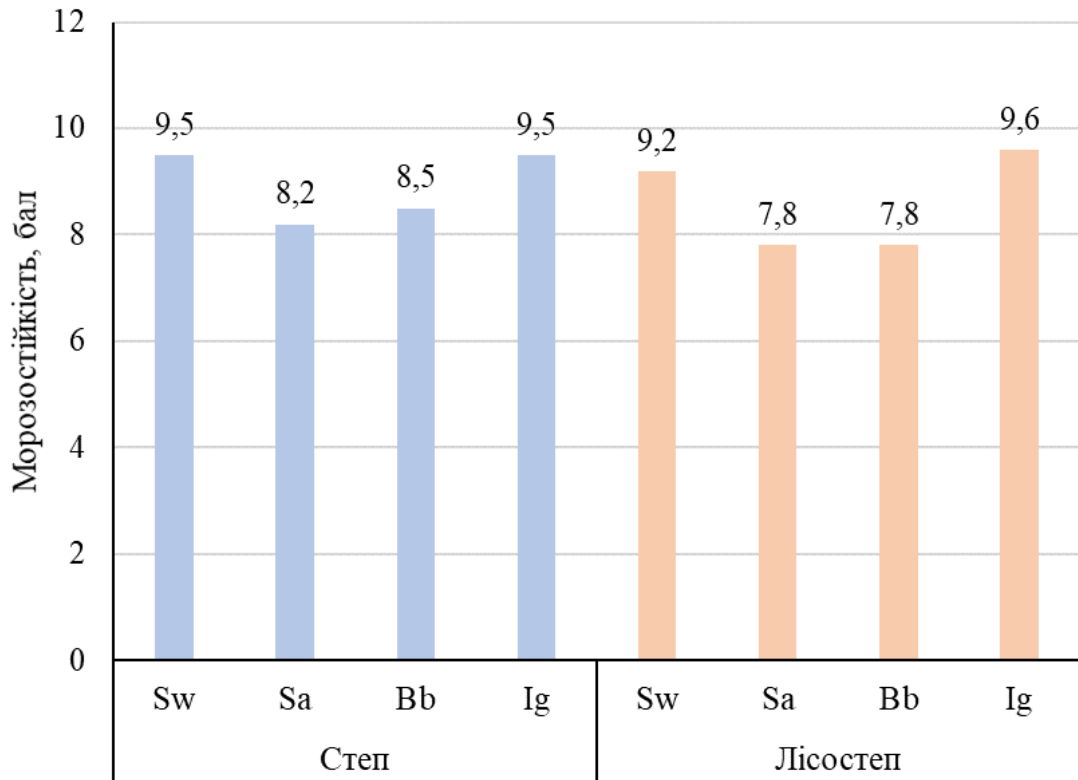
Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутоподібного, Sa – одновидові посіви сорго багаторічного, Bb – одновидові посіви Біг-блуестему, Ig – одновидові посіви сорго поникаючого.

Рис. 3.1. Адаптивні властивості (посухостійкість) енергетичних культур відповідно до умов вирощування, 2019-2023 рр.

В умовах Степу (8,8-9,8 балів), порівняно із Лісостепом (8,2-9,4 балів) зафіксовано підвищену стійкість рослин енергокультур до посухи. За посухостійкістю сорго багаторічне та індіан-грас мали бал стійкості більше 9,0, а просо прутоподібне та біг-блуестем – менше. Що можливо пояснити як походженням рослин, їхніми інтродукційними особливостями, так і особливостями будови і функціонування їх підземної (кореневої системи) та надземної вегетативної маси (листіків та стебел).

Відповідно літературних джерел виявлено, що завдяки накопиченню цукровмісних речовин у вузлах кущень та верхній частині кореневої

системи, або ризомах на час закінчення вегетації енергокультури здатні переносити несприятливі умови перезимівлі. Саме в цих особливостях вбачаємо різну реакцію рослин в плані їх морозостійкості за період проведення досліджень (рис. 3.2)



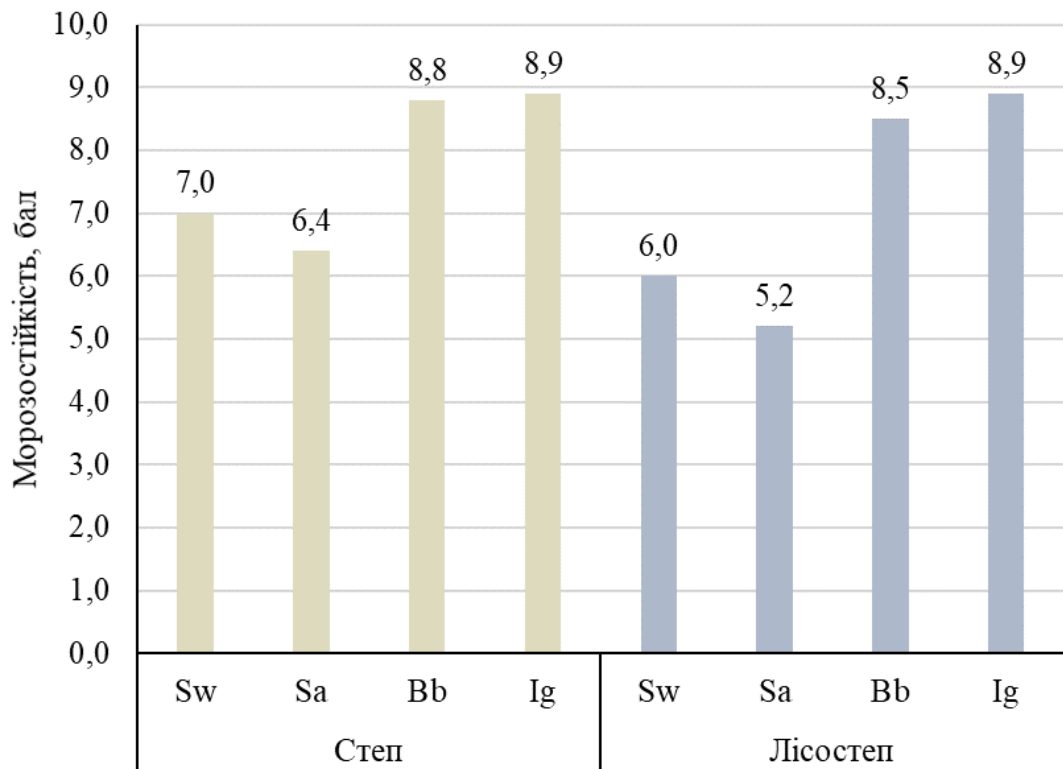
Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутоподібного, Sa – одновидові посіви сорго багаторічного, Bb – одновидові посіви Біг-блуестему, Ig – одновидові посіви сорговника поникаючого.

Рис. 3.2. Адаптивні властивості (морозостійкість) енергетичних культур відповідно до умов вирощування, 2019-2023 рр.

Відмічено, що морозостійкість енергетичних культур був доволі високим як для ґрунтово-кліматичних умов Степу, так і Лісостепу. Цей показник (більше 9,0 балів) був майже на одному рівні у проса прутоподібного та індіан-грасу незалежно від умов вирощування. Більшу морозостійкість мали рослини сорго багаторічного та біг-блуестем в умовах Степу (8,2 і 8,5 балів), порівняно із Лісостепом (7,8 балів).

Із стійкістю до вилягання рослинного ценозу пов'язують особливості будови їхніх стебел, наявності механічних тканин, що здатні утримувати

рослини у вертикальному положенні. Окрім цього на цей показник має вплив густота стеблостою, що є визначальним чинником у формуванні товщини стебла. Стійкість рослин до вилягання посівів була притаманна не всім енергокультурам. (рис. 3.3).



Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутоподібного, Sa – одновидові посіви сорго багаторічного, Bb – одновидові посіви Біг-блуестему, Ig – одновидові посіви сорго паникаючого.

Рис. 3.3. Адаптивні властивості (стійкість до вилягання) енергетичних культур відповідно до умов вирощування, 2019-2023 рр.

Так, найбільшу стійкість (більше 8,0 балів) до вилягання рослини біг-блуестему та індіан-грасу мали у двох місцях вирощування. Меншим цей показник виявився у сорго багаторічного та проса прутоподібного в умовах Степу (6,4-7,0 балів), значно нижчим – в умовах Лісостепу (5,2-6,0 балів).

Загалом, за роки проведення досліджень всі енергетичні культури, що досліджувалися показали високий адаптивний потенціал до різних умов вирощування. У сорго багаторічного відмічено схильність рослин до

вилягання – бал стійкості у середньому за роки дослідження був на рівні 5,2 балів (умови Лісостеп)у, або вище середнього (Степ).

За результатами фенологічних спостережень визначено різні терміни проходження міжфазних періодів та вегетаційного періоду енергетичних культур (табл. 3.2, рис. 3.4).

Таблиця 3.2.

Фенологічні спостереження проходження фаз розвитку і росту енергетичних культур, 2019-2023 рр.

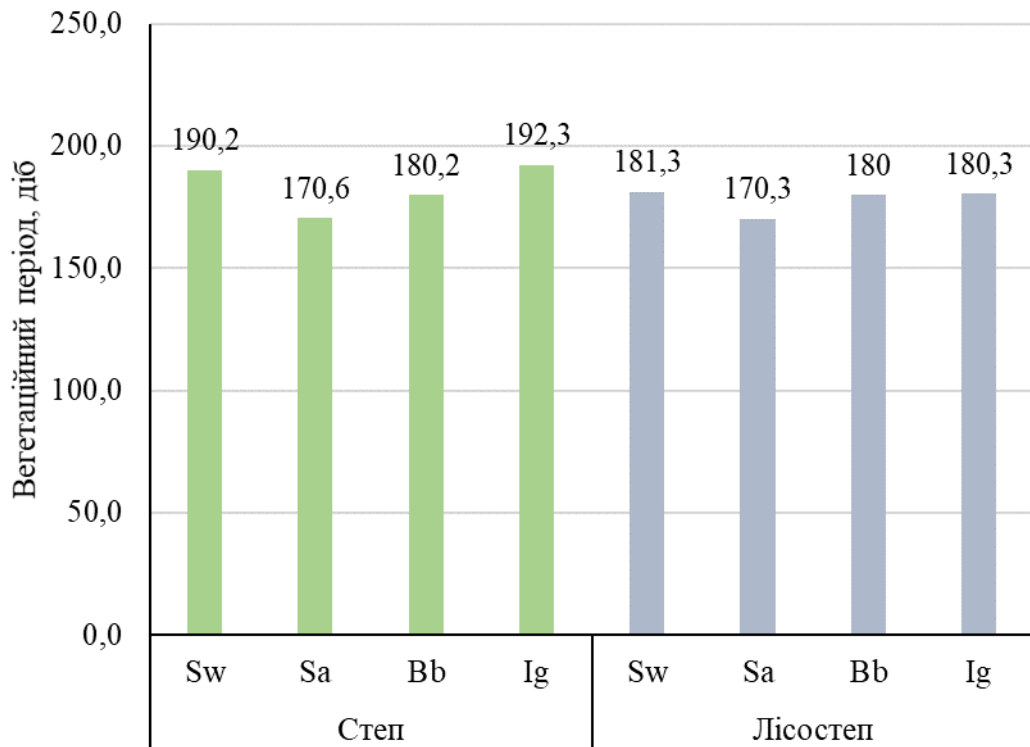
Умови вирощування	Енергетичні культури*	Показник**						
		В\В	К	В\Т	ВВ	К	Д\Н	З\В
Степ	Sw	II декада квітня	III декада квітня	I декада травня	III декада червня	II декада липня	I декада жовтня	III декада жовтня
	Sa	II декада квітня	III декада квітня	I декада травня	III декада червня	II декада липня	I декада жовтня	III декада жовтня
	Bb	II декада квітня	III декада квітня	I декада травня	III декада червня	II декада липня	I декада жовтня	I декада лист.
	Ig	II декада квітня	III декада квітня	I декада травня	III декада червня	II декада липня	I декада жовтня	I декада лист.
Лісостеп	Sw	II декада квітня	III декада квітня	II декада травня	I декада липня	III декада липня	I декада жовтня	I декада жовтня
	Sa	II декада квітня	III декада квітня	II декада травня	I декада липня	III декада липня	I декада жовтня	I декада жовтня
	Bb	II декада квітня	III декада квітня	II декада травня	I декада липня	III декада липня	I декада жовтня	I декада жовтня
	Ig	II декада квітня	III декада квітня	II декада травня	I декада липня	III декада липня	I декада жовтня	I декада жовтня

*Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутощодібного, Sa – одновидові посіви сорго багаторічного, Bb – одновидові посіви Біг-блюестему, Ig – одновидові посіви сорго паникаючого.

**Примітка: В\В – відновлення вегетації; К – кушіння; В\Т – вихід в трубку; ВВ – викидання волоті; К – квіткування; Д\Н – дозрівання насіння; З\В – закінчення вегетації.

Вирощування енергетичних культур в умовах Степу, порівно із Лісостепом значно подовжували терміни проходження міжфазних періодів

окремих досліджуваних рослин. Що у кінцевому результаті мало вплив і на тривалість вегетаційного періоду енергетичних культур залежно від умов їх вирощування (рис. 3.4).



Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутоподібного, Sa – одновидові посіви сорго багаторічного, Bb – одновидові посіви Біг-блюестему, Ig – одновидові посіви сорговника поникаючого.

Рис. 3.4. Тривалість вегетаційного періоду енергетичних рослин, 2019-2023 рр.

Під час проведення досліджень було визначені дати фаз росту й розвитку рослин, а також встановлена розбіжність тривалості вегетаційного періоду, за умов вирощування енергетичних культур у різних кліматичних зонах. Так, вегетаційний період проса прутоподібного в умовах Степу тривав близько 190 діб, в умовах Лісостепу – 180 діб. Вегетаційний період індіан-грасу склав 190 діб в умовах Степу та 180 діб у Лісостепу.

Вегетаційні періоди біг блюестему не вирізнялися за різних кліматичних умов вирощування і становили близько 180 діб як за умов вирощування в

Степу, так і в Лісостепу. Також, за період дослідження не вирізнялися вегетаційні періоди сорго багаторічного і були на рівні 170 діб.

3.2. Формування біометричних показників енергетичних культур

Формування біометричних показників рослин енергетичних культур відбувалося як під впливом їх видових особливостей, так і залежало від умов вирощування (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Висота рослин енергетичних культур (см), 2019-2023 рр.

Умови вирощування (Фактор А)	Енергетичні культури (Фактор В)	Рік вегетації					Середнє за роки	Відмінність +/- між кліматичними зонами
		1-й	2-й	3-й	4-й	5-й		
Степ	Sw	98	187	250	265	270	214	-
	Sa	210	245	244	251	239	238	-
	Bb	87	138	152	154	155	137	-
	Ig	136	200	230	238	236	208	-
Лісостеп	Sw	124	210	253	270	273	226	+ 12
	Sa	230	268	262	264	240	253	+ 15
	Bb	108	139	158	165	180	150	+ 13
	Ig	195	236	257	250	258	239	+ 31
НІР ₀₅		20,4	17,4	23,7	28,8	14,3	-	-

Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутотдібного, Sa – одновидові посіви сорго багаторічного, Bb – одновидові посіви Біг-блюстему, Ig – одновидові посіви сорговника поникаючого.

Основними показниками структури врожаю енергетичних культур, що вирощують задля отримання рослинної сировини є густина й висота стеблостою. Отримані результати свідчать, що ці показники мають вплив такі умови, як кліматична зона вирощування, а також рік вегетації.

Визначено, що всі рослини мають стабільну динаміку росту в перші два роки культивування, при цьому є чітка відмінність висоти рослин у різних

кліматичних зонах. Так, в Степовій зоні відмічено меншу висоту рослин енергокультур, в середньому менша на 8-12% ніж в зоні Лісостепу.

Також слід зазначити, що для всіх культур, окрім сорго багаторічного максимальної висоти рослини набувають на третій рік вегетації, а зміна показника відбувається виключно за рахунок погодних умов. Сорго багаторічне, у відмінності до інших культур, має більш швидке наростання рослин у висоту та набуває максимальних показників наприкінці другого року вегетації.

Загалом, за роки дослідження виявлено, що розпочинаючи з третього року вегетації висота стебел таких культур як соргоvníк понижающий і просо прутоподібне суттєво не відрізняється в обох кліматичних зонах.

Густота стеблостою, отримана за п'ять років відповідно до умов вирощування наведена у табл.3.4.

Таблиця 3.4

Загальна кількість стебел енергетичних культур (шт./м²), 2019-2023 рр.

Умови вирощування (Фактор А)	Енергетичні культури (Фактор В)	Рік вегетації					Середнє за роки	Відмінність +/- між кліматичними зонами
		1-й	2-й	3-й	4-й	5-й		
Степ	Sw	327	480	518	529	534	478,3	-
	Sa	100	220	222	268	250	212	-
	Bb	190	400	521	530	527	434	-
	Ig	287	488	518	510	524	465	-
Лісостеп	Sw	388	520	538	544	560	510,2	+ 32
	Sa	110	238	287	277	262	235	+ 23
	Bb	212	469	530	535	544	458	+ 24
	Ig	306	490	523	532	533	477,5	+ 11
НІР ₀₅		25,4	26,7	12,5	17,8	22,1	-	-

Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутоподібного, Sa – одновидові посіви сорго багаторічного, Bb – одновидові посіви Біг-блуестему, Ig – одновидові посіви соргоvníка понижающего.

У середньому за роки дослідження найбільшу густоту стеблостою в умовах Лісостепу забезпечили рослини проса прутоподібного (510,2 шт./м²) та інідан-грасу (477,5 шт./м²). За вирощування рослин в Лісостепу у проса прутоподібного (478,3 шт./м²) та інідан-грасу (465,1 шт./м²) також виявився найбільшим цей показник.

3.3. Рівень врожайності енергетичних культур

За роки дослідження найбільшу врожайність, за сухою біомасою, формували сорго багаторічне й соргоvníк поникаючий. Суттєво меншим цей показник виявився у Біг-Блюестема (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Урожайність сухої біомаси енергетичних рослин, 2019-2023 рр.

Умови вирощування (Фактор А)	Енергетичні культури (Фактор В)	Рік вегетації					Середнє за роки	Сумарно за роки
		1-й	2-й	3-й	4-й	5-й		
Степ	Sw	3,8	9,3	12,8	14,9	15,2	11,2	56,0
	Sa	4,4	8,1	12,9	13,5	14,7	10,7	53,6
	Bb	2,2	6,2	7,8	10,7	12,2	7,8	39,1
	Ig	3,8	7,8	10,4	11,2	12,9	9,2	46,1
Лісостеп	Sw	4,8	9,1	11,3	12,5	14,2	10,4	51,9
	Sa	5,6	7,7	11,0	12,9	14,5	10,3	51,7
	Bb	3,9	5,9	6,3	9,8	11,0	7,4	36,9
	Ig	4,0	6,5	7,8	9,9	11,7	8,0	39,9
НІР ₀₅ (Фактор А)		-	-	1,52	1,17	0,95	1,58	-
НІР ₀₅ (Фактор В)		-	-	2,80	2,19	1,82	1,93	-
НІР ₀₅ (Фактор А і В)		-	-	0,74	0,55	0,57	0,75	-

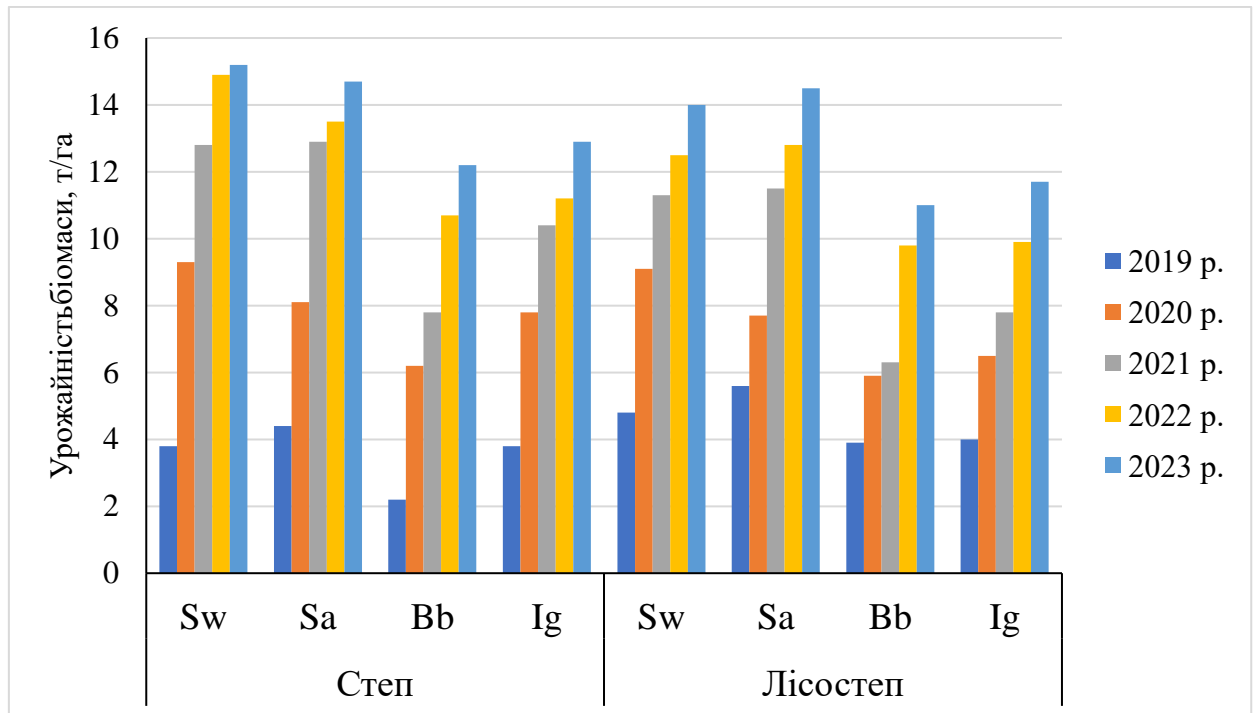
Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутоподібного, Sa – одновидові посіви сорго багаторічного, Bb – одновидові посіви Біг-блюестему, Ig – одновидові посіви соргоvníка поникаючого.

В одновидових посівах урожайність сухої біомаси, в умовах Лісостепу, соргоvníка поникаючого була на рівні 8,9 т/га в другий рік, 10,1 т/га в третій рік, 14,9 т/га на четвертий рік і 15,9 т/га на п'ятий рік. Урожайність біомаси Біг-блюестему варіювала в межах 4,4–9,3 т/га. Урожайність сухої біомаси

сорго багаторічного зросла з 7,7 т/га (2-й рік) до 11,0 т/га (3-й рік), до 13,5 т/га (4-й рік) та 14,7 т/га (5-й рік).

В одновидових посівах урожайність сухої біомаси, в умовах Степу, сорговника поникаючого була на рівні 7,8 т/га в другий рік, 10,4 т/га в третій рік, 11,2 т/га на четвертий рік і 12,9 т/га на п'ятий рік. Урожайність біомаси Біг-Блюестему варіювала в межах 5,9–11,0 т/га. Урожайність сухої біомаси Сорго багаторічного зросла з 7,7 т/га (2-й рік) до 11,5 т/га (3-й рік), 12,9 т/га (4-й рік) та до 14,5 т/га (5-й рік)

Слід зазначити, що, починаючи з третього року культивування, всі культури, а, особливо, сорговник поникаючий і Біг-Блюестем мали дуже повільне зростання кількості біомаси (рис. 3.5).

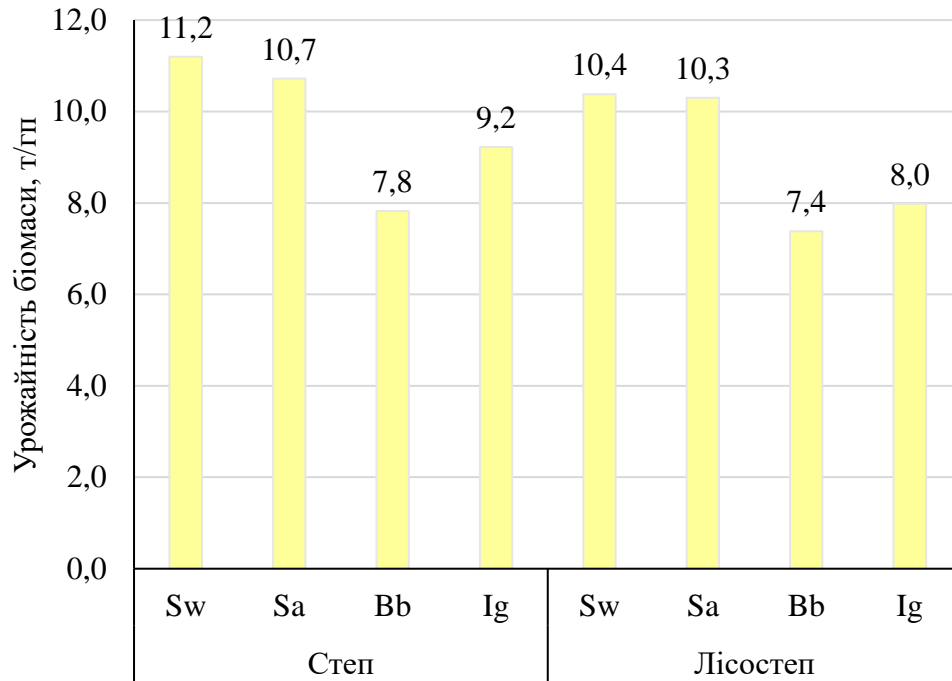


Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутопдібного, Sa – одновидові посіви сорго багаторічного, Bb – одновидові посіви Біг-блюестему, Ig – одновидові посіви сорговника поникаючого.

Рис. 3.5. Урожайність біомаси енергетичних культур залежно від умов вирощування, 2019-2023 рр.

У середньому за роки дослідження енергетичні культури забезпечили різну врожайність за сухою біомасою. На цей показник мали вплив як видові

особливості рослин, так і ґрунтово-кліматичні умови вирощування. Загалом, рівень урожайності біомаси енергетичних культур формувалася найбільшим в умовах Степу (7,8-11,2 т/га), суттєво нижчим він був в умовах Лісостепу – від 7,4 до 10,4 т/га (рис. 3.6).



Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутоподібного, Sa – одновидові посіви сорго багаторічного, Bb – одновидові посіви Біг-блуестему, Ig – одновидові посіви сорго поникаючого.

Рис. 3.6. Урожайність біомаси енергетичних культур залежно від умов вирощування, середнє за 2019-2023 рр.

У середньому за роки дослідження з-поміж енергетичних культур найбільшу врожайність зафіксовано у одновидових посівів проса прутоподібного (для Степу цей показник становив 11,2 т/га та для Лісостепу 10,4 т/га) та сорго багаторічного (для Степу 10,7 т/га та для Лісостепу 10,3 т/га). Загальна врожайність біомаси за усі роки дослідження характеризується обсягом біомаси енергетичних культур у одновидових посівах, який істотно відрізнявся залежно від досліджуваної культури та умов вирощування (рис. 3.7).

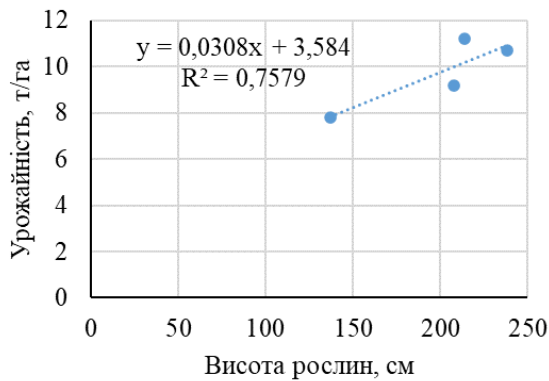


Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутопдібного, Sa – одновидові посіви сорго багаторічного, Bb – одновидові посіви Біг-блуестему, Ig – одновидові посіви сорговника поникаючого.

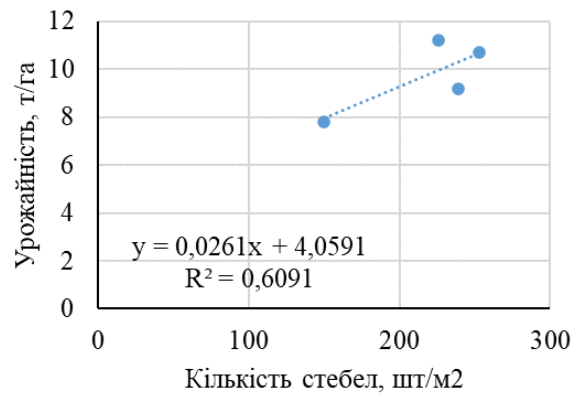
Рис. 3.7. Обсяг біомаси енергетичних культур залежно від умов вирощування, у загальному за 2019-2023 рр.

Найбільший обсяг біомаси за роки дослідження забезпечили: просо прутопдібне (для Степу цей показник становив 56,0 т/га та для Лісостепу 51,9 т/га) та сорго багаторічне (для Степу цей показник становив 53,6 т/га та для Лісостепу 51,7 т/га). Інші варіанти за обсягом біомаси мали суттєво менші значення: індіан-грасом (для Степу цей показник становив 46,1 т/га та для Лісостепу 39,9 т/га), найнижчим це показник був у біг-блуестему (для Степу цей показник становив 39,1 т/га та для Лісостепу 36,9 т/га). Це свідчить, що загальний обсяг біомаси за період дослідження енергокультур значною мірою залежить від ґрунтово-кліматичних умов вирощування в яких проходила вегетація рослин.

Встановлено суттєвий вплив біометричних показників рослин за висотою і густотою стеблостою на врожайність біомаси енергетичних культур залежно від умов вирощування (рис. 3.8-3.9).



а

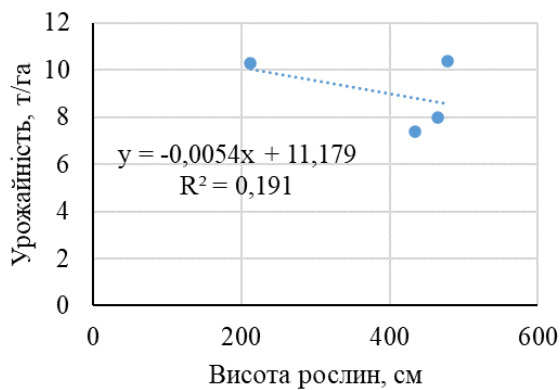


б

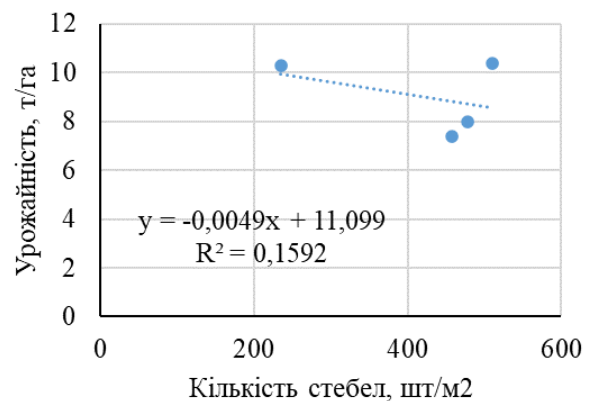
Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутопдібного, Sa – одновидові посіви сорго багаторічного, Bb – одновидові посіви Біг-блуестему, Ig – одновидові посіви сорговника поникаючого.

Рис. 3.8. Зв'язок між біометричними показниками рослин: а – висота рослин, б- кількість стебел та врожайністю сухої біомаси енергетичних культур в умовах Степу, 2018–2023 рр.

Відповідно регресійного аналізу встановлено, що в умовах Степу виявлено сильний зв'язок між висотою та врожайністю енергетичних культур ($R^2 = 0,76$). Кількість стебел і врожайність мають зв'язок середньої сили за коефіцієнтом апроксимації ($R^2 = 0,61$).



а



б

Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутопдібного, Sa – одновидові посіви сорго багаторічного, Bb – одновидові посіви Біг-блуестему, Ig – одновидові посіви сорговника поникаючого.

Рис. 3.9. Зв'язок між біометричними показниками рослин: а – висота рослин, б- кількість стебел та врожайністю сухої біомаси енергетичних культур в умовах Степу, 2018–2023 рр.

Встановлено, що в умовах Лісотепу зв'язку між біометричними показниками енергетичних рослин та врожайністю не має.

3.4. Якість біомаси енергетичних культур

З метою подальшого промислового використання, проведено оцінку якості біомаси енергетичних рослин. Що здійснено за такими основними складовими: вміст целюлози, геміцелюлози й лігніну (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Показники якості вмісту біомаси енергетичних рослин, 2019-2023 рр.

Умови вирощування (Фактор А)	Енергетичні культури (Фактор В)	Показник			Інші складові
		целюлоза, %	гемі-целюлоза, %	лігнін, %	
Степ	Sw	36,4	27,8	16,2	19,6
	Sa	33,4	26,5	17,4	22,7
	Bb	36,5	25,2	15,7	22,6
	Ig	33,1	24,4	17,1	25,4
Лісостеп	Sw	37,2	28,1	16,5	18,2
	Sa	34,1	26,8	17,5	21,6
	Bb	36,1	25,0	15,1	23,8
	Ig	33,5	25,2	17,7	23,6

Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутопдібного, Sa – одновидові посіви сорго багаторічного, Bb – одновидові посіви Біг-блуестему, Ig – одновидові посіви сорговника поникаючого.

В результаті отримані дані щодо показників якості вмісту біомаси енергетичних культур (вміст целюлози, геміцелюлози й лігніну) залежно від умов вирощування не мав суттєвої різниці по складових. Виклбченням є рослини сорговник апоникаючого табіг-блуестему, в яких вміст лігніну був

меншим у Ліссостепу (на 0,9%), у порівнянні з Степом. Це підтверджує тезу про можливість сумісної переробки біомаси рослин, що досліджуються, а також про переробку суміші біомас.

Також, слід зазначити, що кількісні показники целюлози й геміцелюлози в біомасі несуттєво вирізняються в Ліссостепу у порівнянні з степовою зоною.

У зв'язку з вищенаведеним, для кожної з культур, без прив'язки до кліматичних умов, визначений рівень вуглецю в сухій (висушеній до рівня < 20%) біомасі енергетичних культур, який є важливим показником для переробки в синтез-газ. Для всіх енергетичних культур вміст вуглецю виявився в межах С – 43-45%.

Загальний елементарний склад біомаси енергокультур наведений в табл. 3.7, рис. 3.10.

Таблиця 3.7

**Елементарний хімічний склад сухої біомаси енергетичних рослин,
2019-2023 рр.**

Енергетичні культури	Показник							
	С, %	Н, %	О, %	Н, %	NaCl, %	S, %	інше (зола), %	H ₂ O, %
Sw	43,9	5,4	33,2	1,6	0,72	0,16	4,9	10
Sa	42,4	5,5	34,2	1,7	0,65	0,17	5,2	10
Bb	44,8	4,8	33,3	1,7	0,75	0,17	4,6	10
Ig	43,7	5,4	34,3	1,6	0,74	0,16	4,2	10

Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутопдібного, Sa – одновидові посіви сорго багаторічного, Bb – одновидові посіви Біг-блюстему, Ig – одновидові посіви сорговника поникаючого.

Як зазначено в таблиці, у всіх культур, окрім багаторічного сорго, виявлений майже однорідний хімічний склад. Біомаса багаторічного сорго, має невеликі відхилення по зольності і вуглецю.

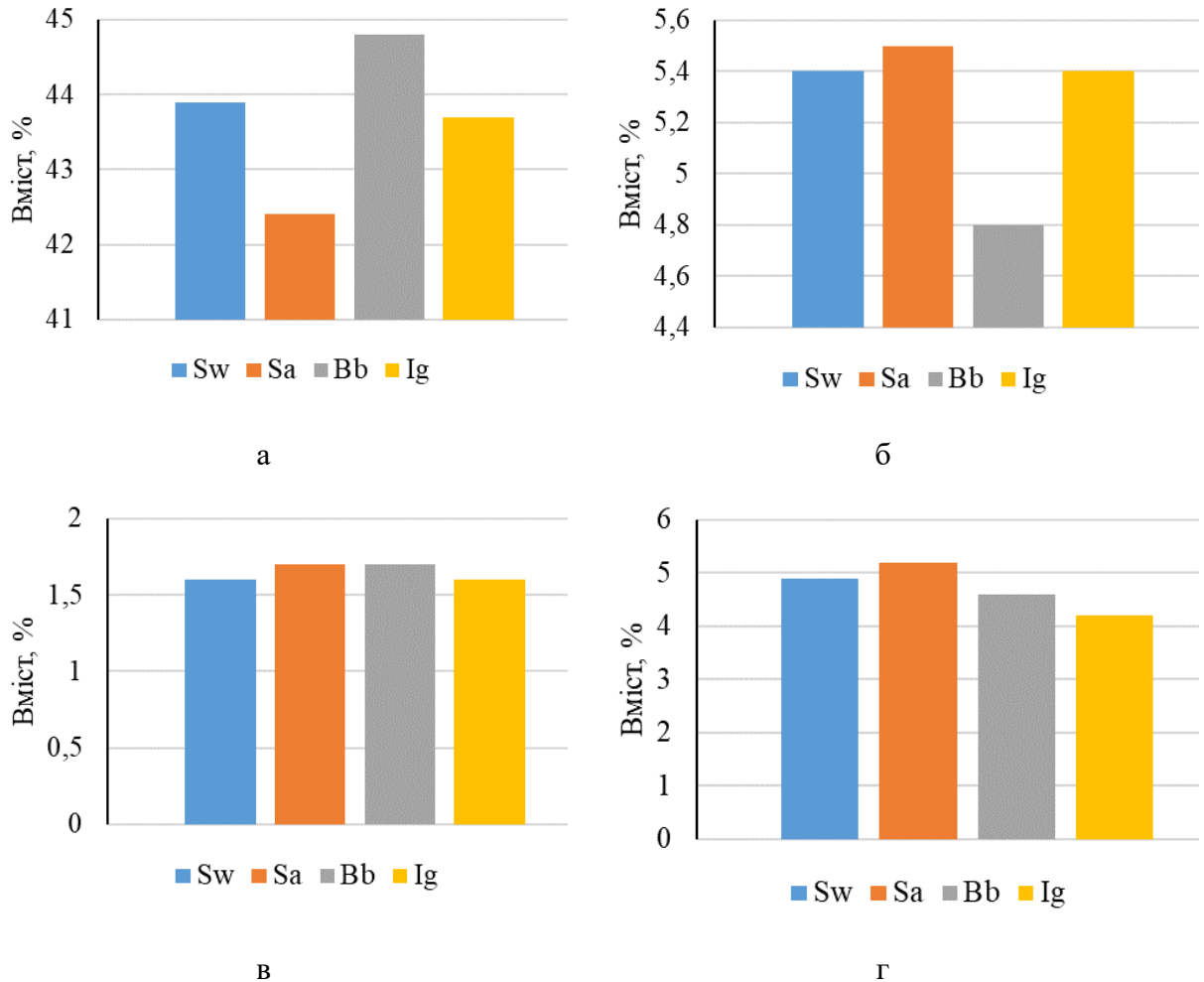


Рис. 3.10. Хімічний склад біомаси енергетичних культур в досліді: а - вміст С (%), б - вміст Н (%), в - вміст N (%), г - в - вміст золи (%)

Як видно з даних графіка (рис.3.10) і зазначено в таблиці, у всіх культур, окрім багаторічного сорго та біг-блуестему, виявлений майже однорідний хімічний склад. Біомаса біг-блуестему містить найбільше вуглецю, найменше водню, має невеликі відхилення по зольності.

Виходячи з вищенаведених даних можна зробити висновок що, для цілей подальшої переробки і для цілей виробництва біопалива можливо використовувати біомасу енергетичних культур, які культивуються в сумісних посівах світчграсу, сорговника поникаючого і біг-блунстему.

Отримані дані щодо хімічного складу енергетичних культур підтверджує тезу про можливість сумісної переробки біомаси в сумішках рослин, що досліджуються.

Висновки до розділу:

1. За роки дослідження, які характеризувалися мінливими кліматичними умовами, встановлено наступне: найвищу посухостійкість мали сорговник пониклий та сорго багаторічне в обох кліматичних зонах. Найвищу морозостійкість показали сорговник пониклий та просо прутоподібне; найвищу стійкість до вилягання мав сорговник поникаючий. Більший відсоток вилягання просо прутоподібного і сорго багаторічного зафіксовано в Лісостеповій зоні, порівняно зі Степом. Вищезазначене дає можливість зробити припущення про залежність цього показника від кількості опадів та умов вирощування.

2. Вегетаційний період енергокультур є мінливим й залежить від термінів проходження міжфазних періодів росту й розвитку рослин. Що пов'язуємо як з біологією рослин, так і з умовами їх вегетації. В умовах Степу, порівняно із Лісостепом його тривалість була подовженою і для досліджуваних культур сягала 170,6–192,0 діб (найтриваліший він був у сорговника пониклого). Для умов Лісостепу тривалість вегетаційного періоду енергетичних культур змінювалася – від 170,3 до 181,3 діб, найбільш тривалим він був у проса прутоподібного.

3. Кількісні показники рослин (висота й густота стеблостою) є мінливою ознакою енергетичних рослин. Вони мають тренд до щорічного зростання, що пов'язуємо із біологією рослин, «укоріненням посівів», щорічним зростанням кореневої системи. В Степу формується найбільша висота сорго багаторічного (238,0 см), в Лісостепу – сорговника пониклого (239,0 см). Кількість стебел – навпаки: зростає в умовах Лісостепу, що відмічено для проса прутоподібного (510,2 шт./м²) та у сорго багаторічного (235,0 шт./м²). Для умов Степу, відповідно цих енергокультур дані показники становили 478,3 та 212,0 шт./м².

4. Ґрунтово-кліматичні умови вносять суттєвий вплив у формування врожайності енергетичних культур з родини тонконогові. В умовах Степу, порівняно із Лісостепом отримали доказову вищу врожайність біомаси енергетичних культур (у середньому за 4 роки): – від 7,8 до 11,2 т/га, а в в

умовах Лісостепу – вона була суттєво нижчою та варіювала у межах від 7,4 до 10,4 т/га.

5. Визначено, що найбільший обсяг біомаси за роки дослідження забезпечували: просо прутоподібне (для Степу цей показник становив 56,0 т/га та для Лісостепу 51,9 т/га) й сорго багаторічне (для Степу цей показник становив 53,6 т/га та для Лісостепу 51,7 т/га). Інші варіанти за обсягом біомаси мали суттєво менші значення: сорговник пониклий (для Степу цей показник становив 46,1 т/га, для Лісостепу 39,9 т/га), найнижчим це показник був у біг-блуестему (для Степу цей показник становив 39,1 т/га, для Лісостепу 36,9 т/га).

6. Умови вирощування не вносять суттєвих змін у якість біомаси енергокультур: целюлозні складові, окрім лігніну – змінюють несуттєво. З-поміж енергетичних культур, найбільше вуглецю за порівняно низького вмісту водню у біомасі накопичує біг-блуестем. Вміст золи в біомасі енергослин варіює від 4,2 до 5,2 %, з найменшим значенням за дани показником у сорговника поникаючого.

Основні положення розділу опубліковано:

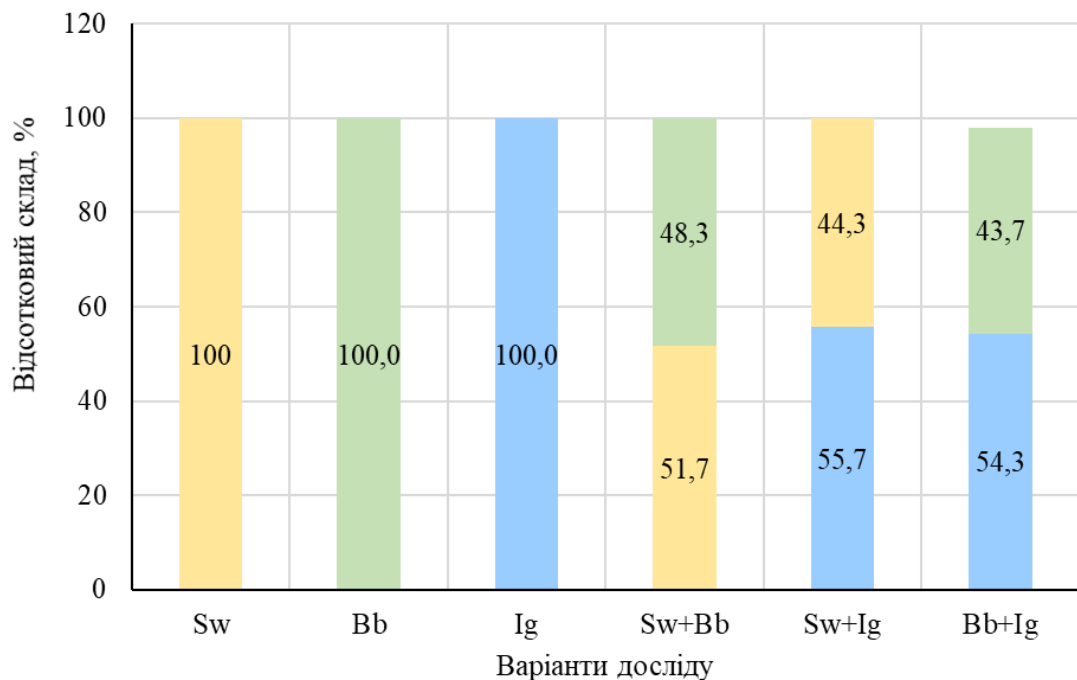
1. Дьомін Д. Г. Вплив елементів технології вирощування на врожайність малопоширених енергетичних культур. *Енергетичні культури : сортимент, біологія, екологія, агротехнологія: колективна монографія / за ред. док. с.-г. наук., проф. М. І. Кулика. Полтава: “Астрія”, 2023. С. 171–217. [143]*
2. Рожко І. І., Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Вплив біометричних показників рослин на врожайність біомаси інтродукованих малопоширених енергетичних культур. *Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2021. Вип. 2, С. 114–123. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.14> [144]*

РОЗДІЛ 4

ВПЛИВ СПОСОБІВ ВИРОЩУВАННЯ У ФІТОЦЕНОЗІ НА ВРОЖАЙНІСТЬ БІОМАСИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР В РІЗНИХ УМОВАХ

4.1. Формування врожайності енергетичних культур залежно від способу вирощування в умовах Степу

За результатами проведених досліджень в умовах Степу встановлено, що сумісне вирощування енергетичних культур дозволяє оптимізувати структуру фітоценозу (рис. 4.1).



**Примітка:* Sw – одновидові посіви проса прутоподібного (варіант 1, контроль), Bb – одновидові посіви Біг-блуестему (варіант 2, ум. контроль), Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 3, ум. контроль), Sw+Bb – сумісні посіви проса прутоподібного та Біг-блуестему (варіант 4), Sw+Ig – сумісні посіви проса прутоподібного та індіанграсу (варіант 5), Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блуестему (варіант 6).

**Рис. 4.1. Структура фітоценозу у польовому досліді Степу,
2018–2022 рр.**

Сумісні посіви енергетичних культур сприяють раціональному використанні площі та рівномірному розподілу рослин у відсотковому складі.

Завдяки різноглибинному розташуванню кореневої системи енергорослини отримують достатнє мінеральне живлення. Інтенсивний ріст й розвиток надземної вегетативної маси дозволяє затінювати й витіснити бур'яни з фітоценозу. Що пов'язуємо із утворенням фітогербіцидного екрану самими рослинами енергетичних культур, що вирощують сумісно.

Визначено, що одновидові посіви енергетичних культур в умовах Степу займали 100 % склад. Водночас у сумісних посівах фіксували варіювання за даним показником – від 43,7 до 55,7 % залежно від складу травосумішки. Що пов'язуємо із природньою конкуренцією енергорослин за світло й поживні речовини, особливостями морфологічної будови при розміщенні їх сумісно на одній площі. Оптимізація видового складу у сумісних посівах енергетичних культур впливає на рівень врожайності біомаси рослинних компонентів за роками досліджень (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

**Урожайність біомаси енергетичних культур в умовах Степу (т/га),
2018–2023 рр.**

Варіанти*	Рік вегетації				Середнє за роки	При- бавка до контр.
	перший (2018-2020 рр.)	другий (2019-2021 рр.)	третій (2020- 2022 рр.)	четвертий (2021-2023 рр.)		
Sw	9,3	12,8	14,9	15,2	13,1	-
Bb	6,2	7,8	10,7	12,2	9,2	-
Ig	7,8	10,4	11,2	12,9	10,6	-
Sw+Bb	9,6	13,8	14,9	15,2	13,4	0,3
Sw+Ig	10,1	14,3	15,0	15,4	13,7	0,7
Bb+Ig	7,6	11,3	12,5	12,6	11,0	1,8
НІР ₀₅	0,45	0,53	0,55	0,64	0,20	-

*Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутоподібного (варіант 1, контроль), Bb – одновидові посіви Біг-блуестему (варіант 2, ум. контроль), Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 3, ум. контроль), Sw+Bb – сумісні посіви проса прутоподібного та Біг-блуестему (варіант 4), Sw+Ig – сумісні посіви проса прутоподібного та індіанграсу (варіант 5), Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блуестему (варіант 6).

З-поміж варіантів досліду, порівняно із одновидовими посівами, найбільшу прибавку врожаю забезпечило сумісне вирощування біг-блуестему та індіан-грасу (1,8 т/га). Але на цих варіантах досліду, порівняно з іншими варіантами формувалася суттєво нижча врожайність біомаси за роки дослідження (11,0 т/га). Найбільшу врожайність біомаси за сухою речовиною забезпечили варіанти сумісного вирощування проса прутоподібного та індіан-грасу (Sw+Ig) – на рівні 13,7 т/га (прибавка 0,7 т/га) та проса прутоподібного й біг-блуестему (Sw+Bb) – 13,4 т/га (прибавка 0,3 т/га), рис. 4.2.

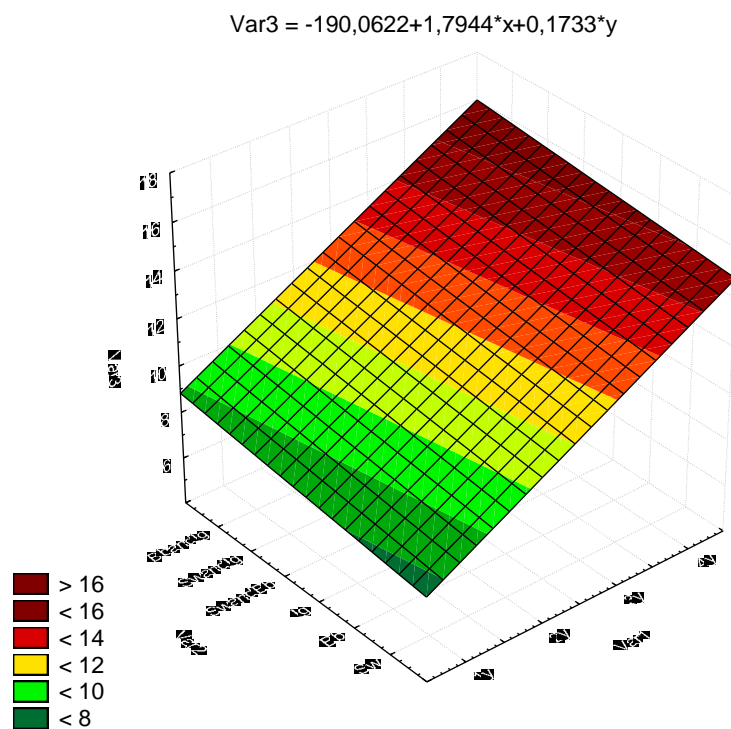
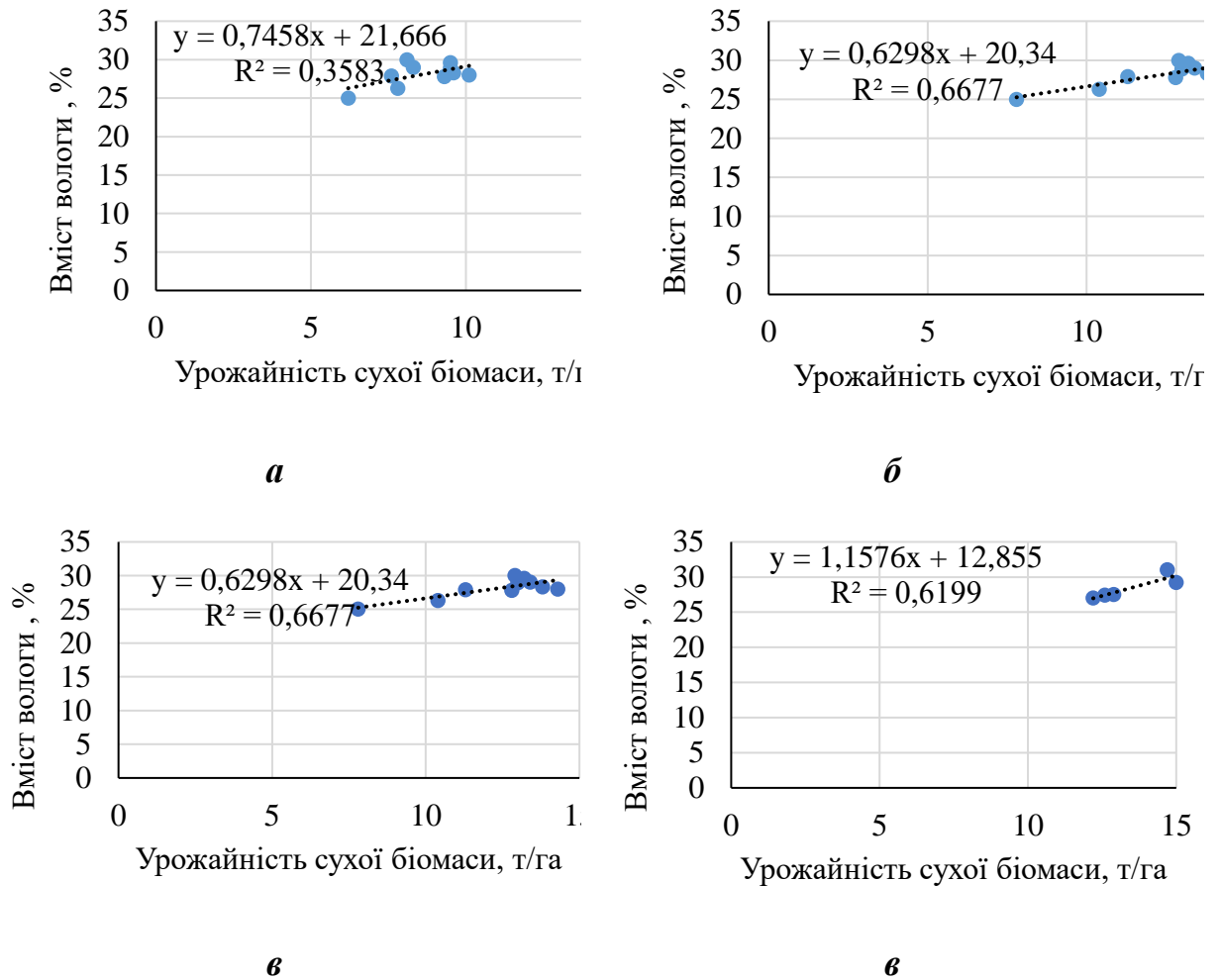


Рис. 4.2. Тримірна модель впливу способу вирощування на врожайність біомаси енергетичних культур, в динаміці років дослідження в умовах Степу, 2018–2023 рр.

Багатомірна модель залежності впливу способу вирощування на врожайність біомаси енергетичних культур в умовах Степу описується рівнянням: $z = 190,06 + 1,79 \times x + 0,17 \times y$.

Вміст вологи у фітомаси на час збору врожаю має істотний вплив на рівень врожайності за сухою біомасою (рис. 4.3).



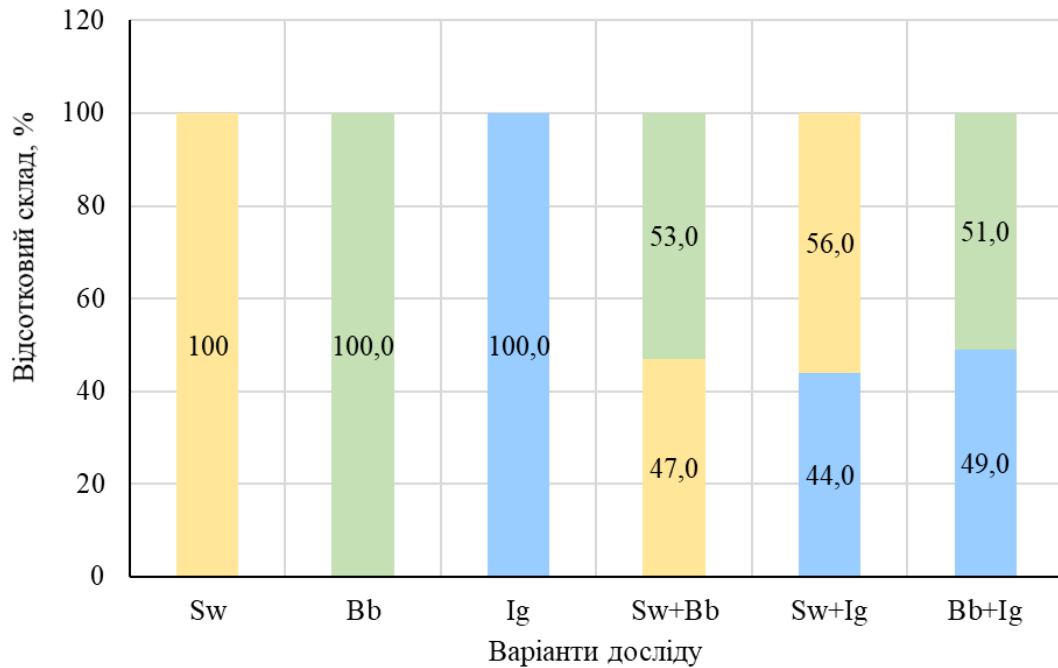
Примітка: а – перший рік дослідження, б – другий рік дослідження, в – третій рік дослідження, г – четвертий рік дослідження.

Рис. 4.3. Зв'язок між вмістом вологи у фітомасі та врожайністю сухої біомаси за усіма видами посіву, 2018–2023 рр.

На основі кореляційно-регресійного аналізу визначено, що вміст вологи має зв'язок середньої сили з врожайністю біомаси енергетичних культур в усі роки дослідження. Ці показники в розрізі років дослідження на 36,0-77,0 % мають взаємозалежність за коефіцієнтів апроксимації ознак ($R^2 = 0,36...0,67$).

4.2. Формування врожайності енергетичних культур залежно від способу вирощування в умовах Лісостепу

В умовах Лісостепу врожайність енергетичних культур також формувалася в залежності від структури фітоценозу (Рис. 4.4).



**Примітка:* Sw – одновидові посіви проса прутоподібного (варіант 1, контроль), Bb – одновидові посіви Біг-блуестему (варіант 2, ум. контроль), Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 3, ум. контроль), Sw+Bb – сумісні посіви проса прутоподібного та Біг-блуестему (варіант 4), Sw+Ig – сумісні посіви проса прутоподібного та індіанграсу (варіант 5), Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блуестему (варіант 6).

Рис. 4.4. Структура фітоценозу у польовому досліді Лісостепу, 2018–2022 рр.

В умовах Лісостепу у енергофітоценозі перевага була за більш посухостійкими енергетичних культур, які у сумісних посівах мали вищий відсоток ніж супутня культура: біг-блуестем 53,0 %, просо прутопдібне 56,0 %, біг-блуестем та індіан-грас мали майже тотожне співвідношення рослинних компонентів – 51,0 і 49,0 %.

Структура фітоценозу мала вплив і на врожайність біомаси енергетичних культур, що варіювала за роки дослідження – від 6,9 до 14,1 т/га. В одновидових посівах продуктивність змінювалася – від 6,9 до 13,2 т/га, в сумісних – від 5,7 до 14,1 т/га. На цей показник мали суттєвий вплив способи вирощування рослин у фітоценозі – їх компонентні сумішки, вегетаційнийного року табл. 4.2).

Таблиця 4.2

**Урожайність біомаси енергетичних культур в умовах Лісостепу
(т/га), 2018–2023 рр.**

Варіанти	Рік вегетації				Середнє за роки	При- бавка до контр.
	перший (2018-2020 рр.)	другий (2019- 2021 рр.)	третій (2020-2022 рр.)	четвертий (2021-2023 рр.)		
Sw	6,9	8,2	12,6	13,2	10,2	-
Bb	4,1	5,6	7,4	8,9	6,5	-
Ig	5,3	6,4	8,7	10,2	7,7	-
Sw+Bb	5,7	8,1	10,1	11,4	8,8	-2,4
Sw+Ig	7,3	8,5	12,9	14,1	10,7	0,5
Bb+Ig	4,6	6,0	8,1	9,6	7,1	0,6
НІР ₀₅	0,66	0,65	0,52	0,61	1,13	-

**Примітка:* Sw – одновидові посіви проса прутоподібного (варіант 1, контроль), Bb – одновидові посіви Біг-блуестему (варіант 2, ум. контроль), Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 3, ум. контроль), Sw+Bb – сумісні посіви проса прутоподібного та Біг-блуестему (варіант 4), Sw+Ig – сумісні посіви проса прутоподібного та індіанграсу (варіант 5), Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блуестему (варіант 6).

В розрізі років дослідження (вегетаційних періодів) відмічено щорічне збільшення врожайності біомаси на усіх варіантах досліду: у монопосівів – від 4,1 до 13,2 т/га, у сумісних – від 4,6 до 14,1 т/га.

У середньому за роки дослідження з-поміж варіантів досліду, порівняно із одновидовими посівами, найбільшу прибавку врожаю забезпечило сумісне вирощування Bb+Ig (0,6 т/га) за одночасно найнижчою врожайністю біомаси (7,1 т/га).

Найбільшу врожайність біомаси за сухою речовиною у середньому за роки забезпечили варіанти сумісного вирощування проса прутоподібного й індіан-грасу (Sw+Ig) – на рівні 10,7 т/га (прибавка 0,5 т/га). Суттєво нижчим цей показник був на варіантах сумісного вирощування проса прутоподібного й біг-блуестему (Sw+Bb) – 8,8 т/га (прибавка -2,4 т/га), рис. 4.5.

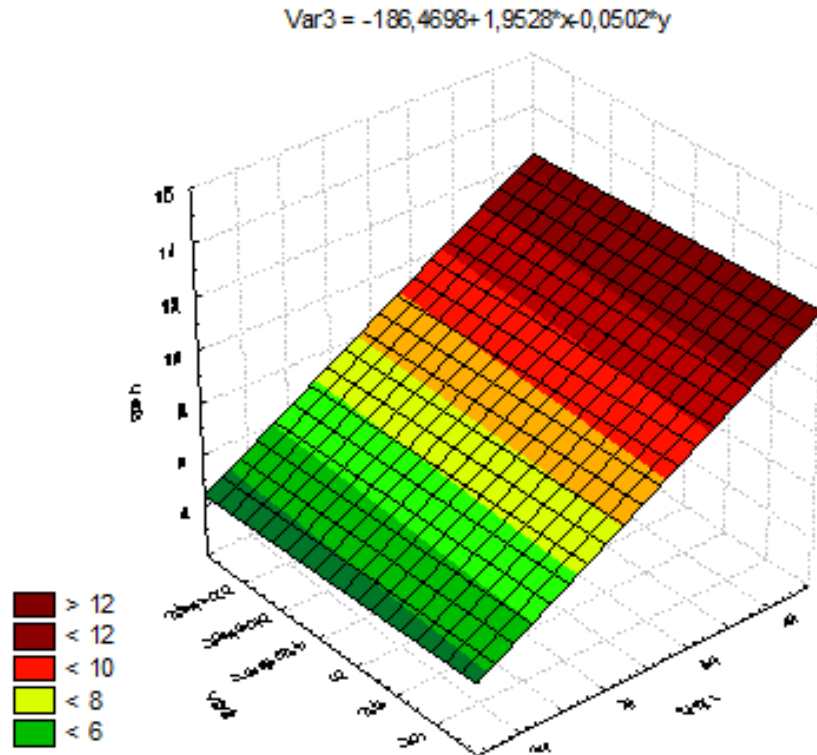
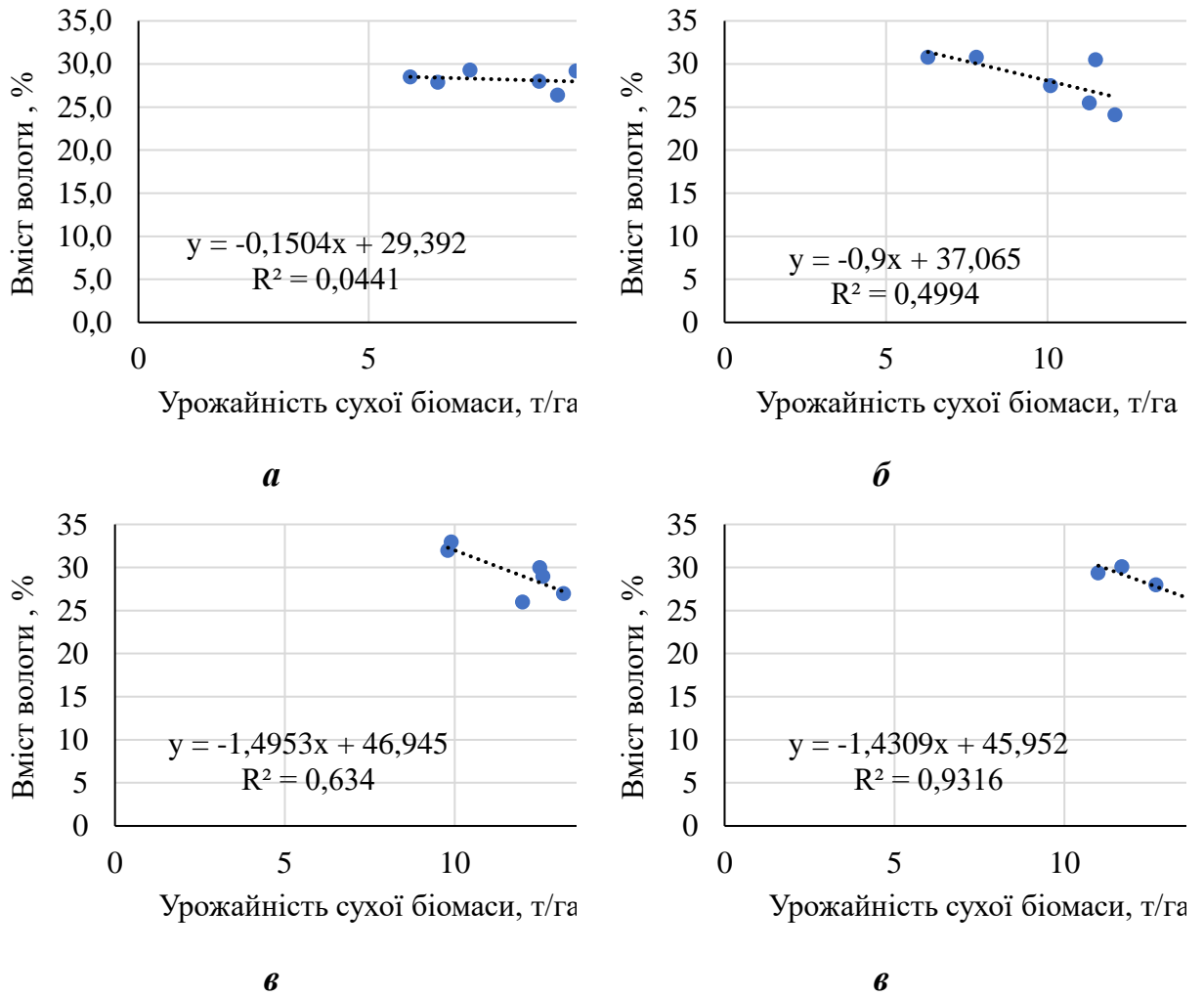


Рис. 4.5. Тримірна модель впливу способу вирощування на врожайність біомаси енергетичних культур, в динаміці років дослідження в умовах Лісостепу, 2018–2023 рр.

Багатомірна модель залежності впливу способу вирощування на врожайність біомаси енергетичних культур в умовах Лісостепу описується рівнянням: $z = 186,47 + 1,95 \times x + 0,05 \times y$.

Вміст вологи у фітомасі має теж суттєвий вплив на рівень врожайності за сухою біомасою енергетичних культур. Цей показник за роками досліджень в умовах Лісостепу був досить мінливим й варіював за варіантами досліду у межах – від 20,7 до 27,8 % (рис. 4.6).



Примітка: а – перший рік дослідження, б – другий рік дослідження, в – третій рік дослідження, г – четвертий рік дослідження.

Рис. 4.6. Зв'язок між вмістом вологи у фітомасі та врожайністю сухої біомаси за усіма видами посіву, 2018–2023 рр.

Встановлено, що вміст вологи у фітомасі та врожайність сухої біомаси енергетичних культур в умовах Лісостепу були мінливими показниками. Відповідно регресійного аналізу встановлено, що у перший рік дослідження зв'язку між цими показниками не має. На другий-третій рік вегетації – зв'язок посилюється до середнього рівня з оберненим знаком. На четвертий рік – зв'язок стає сильним: на 93,0 % ці показники мають взаємозалежність за коефіцієнтом апроксимації ($R^2 = 0,93$).

4.3. Вплив підживлення на формування врожайності енергетичних культур у сумісних посівах

За встановлення впливу позакореневого весняного підживлення препаратом Кристалон визначено суттєвий його вплив на збільшення врожайності енергетичних культур в умовах Лісостепу (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Урожайність енергетичних культур залежно від способу вирощування та підживлення, 2018-2023рр.

Спосіб сівби (Factor A)	Підживлення посівів (Factor B)	Рік вегетації				Середнє	Сума
		перший (2018-2020)	другий (2019-2021)	третій (2020-2022)	четвертий (2021-2023)		
Sw	var.1	6,9	8,2	12,6	13,2	10,2	40,9
	var.2	7,1	8,6	12,9	13,6	10,6	42,2
Bb	var.1	4,1	5,6	7,4	8,9	6,5	26
	var.2	4,6	6	7,7	9,2	6,9	27,5
Ig	var.1	5,3	6,4	8,7	10,2	7,7	30,6
	var.2	5,9	6,8	9,0	10,5	8,1	32,2
Sw+Bb	var.1	5,7	8,1	10,1	11,4	8,8	35,3
	var.2	6,2	8,6	10,4	11,7	9,2	36,9
Sw+Ig	var.1	7,3	8,5	12,9	14,1	10,7	42,8
	var.2	7,5	8,8	13,3	14,5	11,0	44,1
Bb+Ig	var.1	4,6	6	8,1	9,6	7,1	28,3
	var.2	5,1	6,5	8,4	9,9	7,5	29,9
НІР ₀₅ (фактор А)		0,32	0,30	0,21	0,19	-	-
НІР ₀₅ (фактор В)		0,61	0,96	1,05	0,91	-	-
НІР ₀₅ (фактор А і В)		0,13	0,12	0,14	0,14	-	-

НІР₀₅ (фактор А – рік) 0,67

НІР₀₅ (фактор В – спосіб вирощування) 1,15

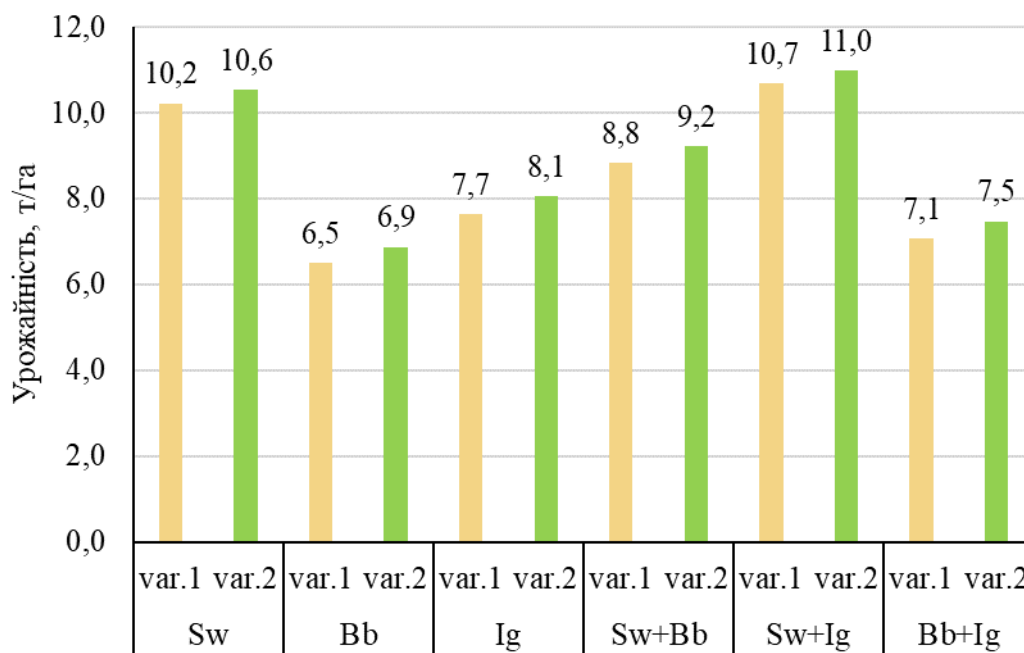
НІР₀₅ (фактор С – підживлення) 0,71

НІР₀₅ (фактор А, В, С) 0,14

*Примітка: Sw – однорядові посіви проса прутоподібного (варіант 1, контроль), Bb – однорядові посіви Біг-блуестему (варіант 2, ум. контроль), Ig – однорядові посіви індіанграсу (варіант 3, ум. контроль), Sw+Bb – сумісні посіви проса прутоподібного та Біг-блуестему (варіант 4), Sw+Ig – сумісні посіви проса прутоподібного та індіанграсу (варіант 5), Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блуестему (варіант 6).

** var.1 -без підживлення (контроль), var.2 – підживлення посівів.

Від першого по четвертий рік вегетації спостерігалася динаміка збільшення врожайності енергетичних культур: у одновидових посівів – від 4,1 до 13,6 т/га, у сумісних цей показник був суттєво більшим – від 4,6 до 14,5 т/га. Також відмічено суттєве зростання прибавки врожаю при застосуванні позакореневого підживлення посівів енергокультур незалежно від їх способу вирощування. Що, у порівнянні з контрольними варіантами в загальному за роки дослідження дозволило отримати збільшену середню врожайність та обсяг біомаси (рис. 4.7).



**Примітка:* Sw – одновидові посіви проса прутоподібного (варіант 1, контроль), Bb – одновидові посіви Біг-блуестему (варіант 2, ум. контроль), Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 3, ум. контроль), Sw+Bb – сумісні посіви проса прутоподібного та Біг-блуестему (варіант 4), Sw+Ig – сумісні посіви проса прутоподібного та індіанграсу (варіант 5), Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блуестему (варіант 6).

** var.1 -без підживлення (контроль), var.2 – підживлення посівів.

Рис. 4.7. Урожайність енергетичних культур залежно від способу вирощування та підживлення, у середньому за 2018-2023 рр.

У монопосівах в середньому за роки дослідження однакову прибавку врожаю зафіксовано при весняному підживленні одновидових посівів проса прутоподібного, біг-блуестему та індіан-грасу (0,4 т/га). У сумісних посівах найбільш урожайним виявилось поєднання проса прутоподібного та індіанграсу на варіантах підживлення посівів 11,0 т/га (прибавка 0,3 т/га).

Сумісні посіви із підживленням проса прутоподібного із біг-блуестемом (9,2 т/га) та біг-блуестем із індіанграсом (7,5 т/га) виявилися менш врожайними, відповідно прибавка в них була однакова на рівні 0,4 т/га. Це свідчить про однакову реакцію цих рослинних видів родини тонконогові на застосування хелатного препарату Кристалон. Що знайшло підтвердження у тримірних моделях залежності врожайності біомаси від досліджуваних чинників (рис. 4.8-4.9).

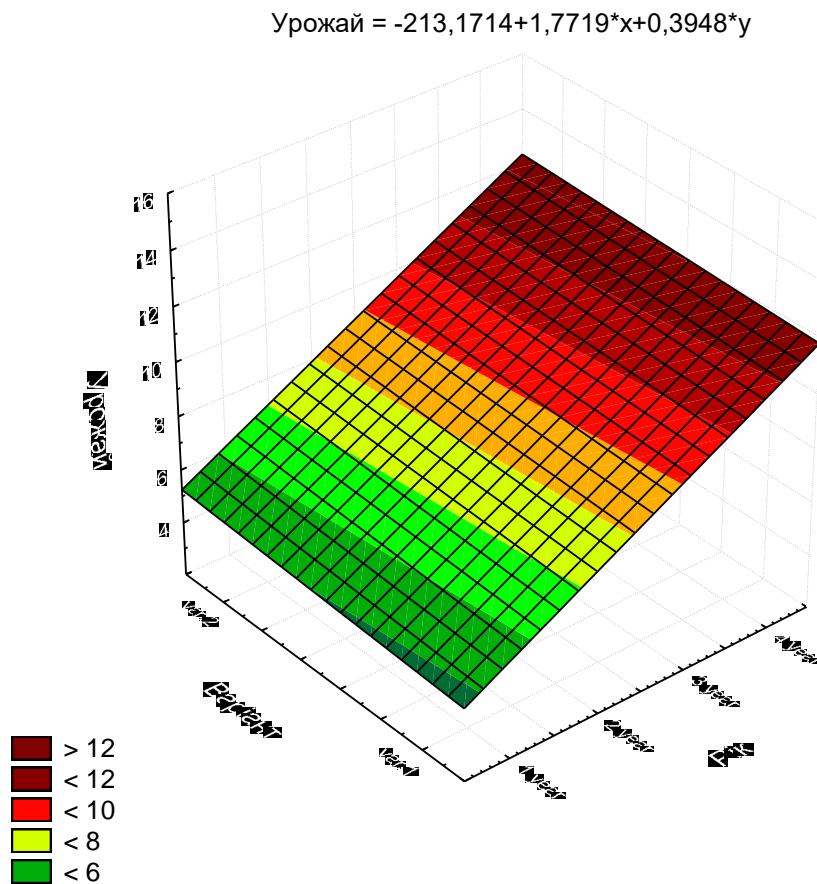


Рис. 4.8. Тримірна модель впливу підживлення на врожайність біомаси енергетичних культур, 2018-2023 рр.

Залежність між врожайністю сухої біомаси та підживленням посівів енергокультур різновидових посівів за роки дослідження можливо описати регресійним рівнянням: $z = 213,17 + 1,77 \times x + 0,39 \times y$.

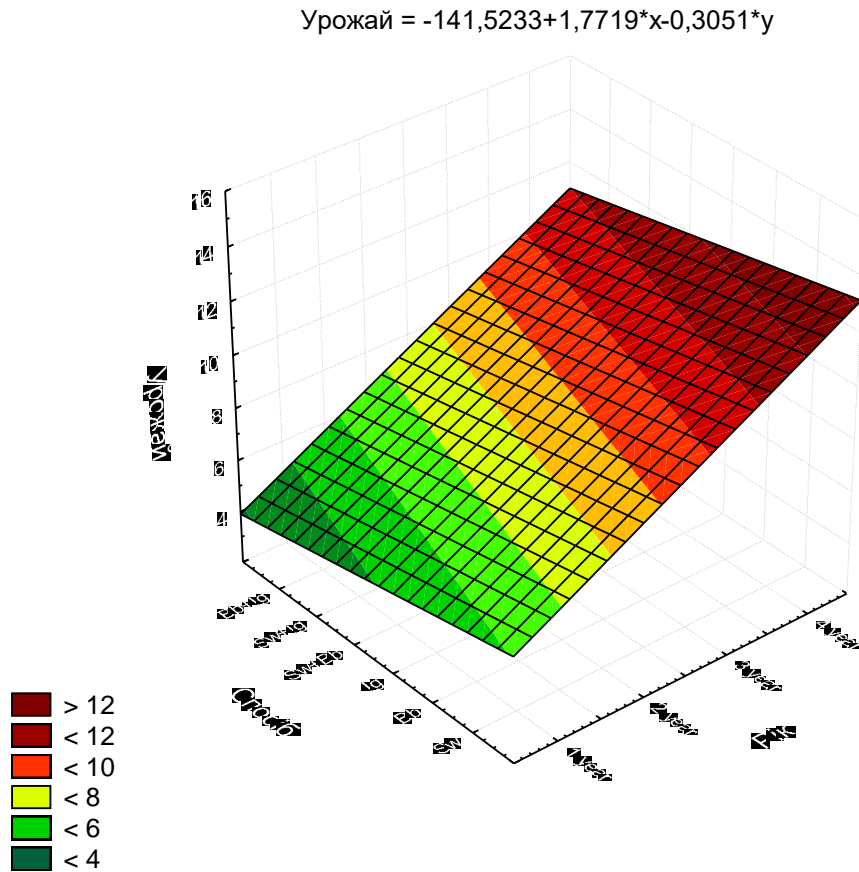


Рис. 4.9. Тримірна модель впливу способу вирощування на врожайність біомаси енергетичних культур, 2018-2023 рр.

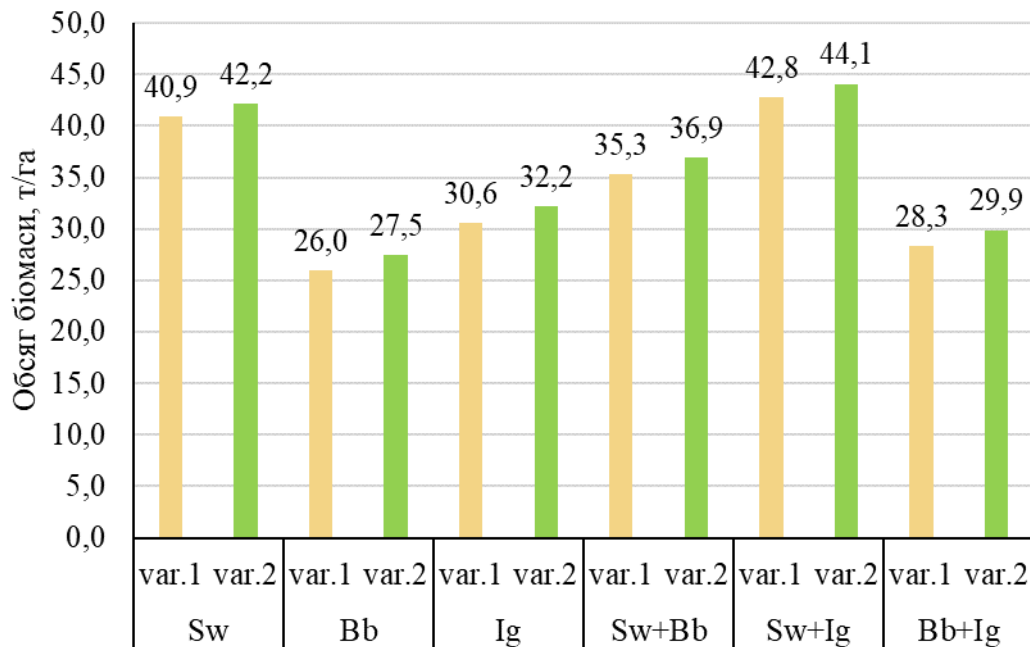
Залежність між врожайністю сухої біомаси та способами сівби енергокультур за роки дослідження можливо описати регресійним рівнянням:

$$z = 141,52 + 1,77 \times x - 0,31 \times y.$$

Таким чином, доведено ефективність застосування підживлення як одновидових так і сумісних посівів енергетичних культур, що були поставлені на вивчення.

У сумісних посівах енергокультур із підживленням найбільшу врожайність формували варіанти сумісного вирощування проса прутіподібного та індіан-грасу 11,0 т/га (0,3 т/га прибавка). Варіанти сумісного вирощування проса прутіподібного та біг-блюестему за їх підживлення забезпечили тотожну прибавку врожаю на рівні 0,4 т/га за врожайності, відповідно 9,2 і 7,5 т/га.

Загальна врожайність за усі роки дослідження характеризується обсягом біомаси енергетичних культур у одно- та різновидових посівах, який істотно відрізнявся за варіантами досліду (рис. 4.10).



**Примітка:* Sw – одновидові посіви проса прутоподібного (варіант 1, контроль), Bb – одновидові посіви Біг-блюестему (варіант 2, ум. контроль), Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 3, ум. контроль), Sw+Bb – сумісні посіви проса прутоподібного та Біг-блюестему (варіант 4), Sw+Ig – сумісні посіви проса прутоподібного та індіанграсу (варіант 5), Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блюестему (варіант 6).

** var.1 -без підживлення (контроль), var.2 – підживлення посівів.

Рис. 4.10. Обсяг біомаси енергетичних культур залежно від способу вирощування та підживлення, у загальному за 2018-2023 рр.

Найбільший обсяг біомаси за чотири роки дослідження забезпечили варіанти сумісного вирощування проса прутоподібного з індіан-грасом (42,8 т/га – контроль та 44,1 т/га – підживлення посівів), менше, але на високому рівні – одновидові посіви проса прутоподібного, відповідно варіантів – з 40,9 і 42,2 т/га. Це свідчить, що сумісна сівба кількох енергетичних культур на одній площі дозволяє отримати збільшений обсяг біомаси, порівняно із монокультурою.

Висновки до розділу 4:

1. Встановлено, що сумісні посіви енергетичних культур залежно від свого компонентного складу змінюють структуру фітоценозу в умовах Степу на 43,7-55,7 %, в умовах Лісостепу – 44,0-56,0 %.

2. Ґрунтово-кліматичні умови вносять суттєвий вплив у формування врожайності енергетичних культур з родини тонконогові. В умовах Степу, порівняно із Лісостепом отримали доказову вищу врожайність біомаси енергетичних культур (у середньому за 4 роки): монопосівів – від 9,2 до 13,1 т/га, сумісних – від 11,0 до 13,4 т/га. Для Лісостепу цей показник змінювався у межах від 6,5 до 10,2 т/га (монопосіви) та від 7,1 до 10,7 т/га (сумісні посіви).

3. 3-поміж енергетичних культур, що вирощувалися у сумісних посівах найбільш урожайними виявилися в умовах Степу: просо прутоподібне та сорговник поникаючий (13,7 т/га), а також просо прутоподібне й біг-блуестем (13,4 т/га). В умовах Лісостепу найбільш врожайними були сумішки проса прутоподібного та сорговника поникаючого (13,7 т/га), а також монопосіви світчграсу (проса прутоподібного) (10,2 т/га).

3. Виявлена пряmolінійна залежність між вмістом вологи у фітомасі та врожайністю сухої біомаси енергетичних культур в умовах Степу – пряmolінійна ($R = 0,36...0,67$), тобто із збільшенням одного показника буде зростати інший. Для умов Лісостепу виявлена обернена залежність ($R = -0,50...0,93$) – при зменшенні вмісту вологи у фітомасі буде зростати врожайність, та навпаки.

4. Застосування щорічного весняного підживлення сумісних посівів енергетичних культур препаратом Кристалон, порівнно з контролем в умовах Лісостепу суттєво збільшує врожайність їх біомаси: проса прутоподібного та сорговника пониклого – від 10,7 до 11,0 т/га, проса прутоподібного із біг-блуестемом – від 7,1 до 7,5 т/га 9,2 т/га та біг-блуестем із сорговником пониклим від 7,1 до 7,5 т/га.

5. Доведено, що застосування підживлення сумісних посівів енергетичних культур препаратом Кристалон дозволяє збільшити обсяг біомаси у середньому за чотири роки. Найбільший обсяг біомаси забезпечили варіанти сумісного вирощування проса прутоподібного з індіан-грасом (42,8 т/га – без підживлення та 44,1 т/га – з підживленням посівів), менше, але на високому рівні формували продуктивність одновидові посіви просо прутоподібного.

Основні положення розділу опубліковано:

1. Дьомін Д. Г. Вплив елементів технології вирощування на врожайність малопоширених енергетичних культур. Енергетичні культури: сортимент, біологія, екологія, агротехнологія: колективна *монографія* / за ред. док. с.-г. наук., проф. М. І. Кулика. Полтава: “Астрая”, 2023. С. 171–217. [143]

2. Рожко І. І., Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Вплив біометричних показників рослин на врожайність біомаси інтродукованих малопоширених енергетичних культур. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. Вип. 2, С. 114–123. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.14> [144]

РОЗДІЛ 5

ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ БІОМАСИ СОРГО БАГАТОРІЧНОГО ПРИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ

5.1. Тривалість міжфазних періодів сортів сорго багаторічного сорго багаторічного залежно від застосування препарату «Агростимулін»

Визначено, що тривалість міжфазних періодів сорго багаторічного залежала як від сортових властивостей, так і від застосування препарату, що застосовували у допосівну підготовку насіння та у під час весняного підживлення рослин по вегетації. За встановлення тривалості міжфазних етапів росту і розвитку та періоду вегетації сортів сорго багаторічного визначено, що вони зменшуються при застосуванні препарату «Агростимулін» (рис 5.1-5.2).

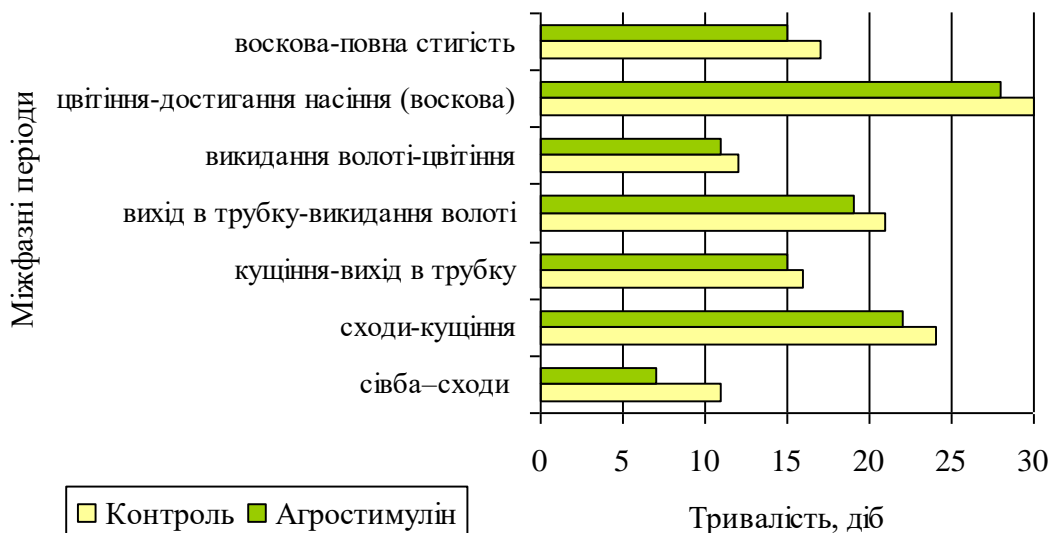


Рис. 5.1. Тривалість міжфазних періодів сорго багаторічного сорту Коломбо, середнє за 2019-2022 рр.

У сорго багаторічного сорту Коломбо при застосування препарату відмічено зниження тривалості усіх міжфазних періодів. Тривалість сівба-сходи зменшились на 4 доби, сходи-кущіння – на 2 доби, що сприяло зниженню забур'яненості посівів за весняної хвилі. У сорту Коломбо тривалість періоду «сівба–сходи» становила 7–11 діб, за період «сходи-кущіння» в середньому минає 22–24 доби; від «кущіння– вихід в трубку» – 15–16 діб; до часу «викидання волоті» – 19-21; до періоду «цвітіння» – 11–12 діб. Після чого, через 28–30 діб настає воскова стиглість, а ще через 15–17 діб – фіксували повне досягання насіння

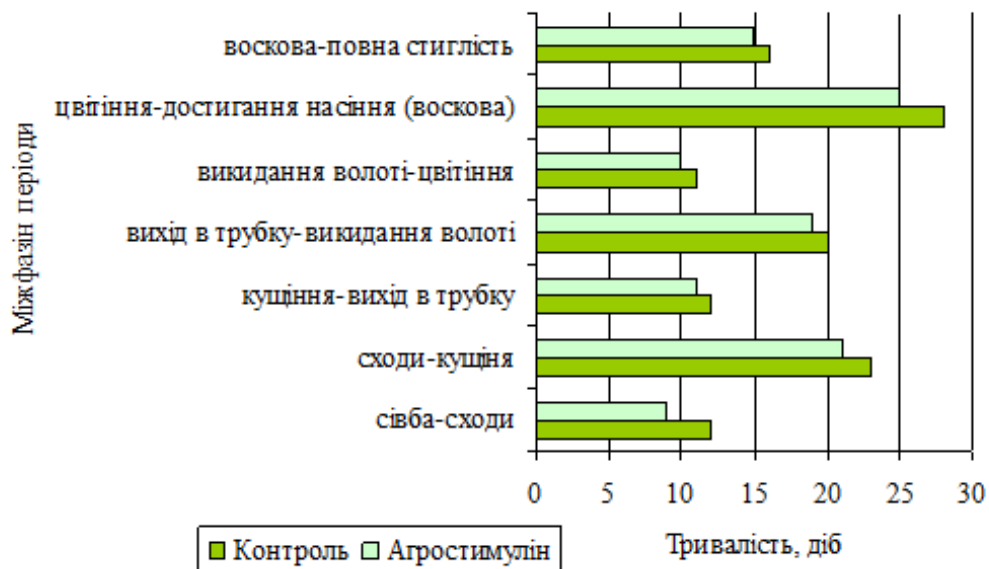


Рис. 5.2. Тривалість міжфазних періодів сорго багаторічного сорту Парана, середнє за 2019-2022 рр.

У сорго багаторічного сорту Парана тривалість періоду «сівба–сходи» становила 9–12 діб, а за період «сходи-кущіння» в середньому минає 21–23 доби; від «кущіння-вихід в трубку» – 11–12 діб.

Під час генеративного періоду розвитку рослин сорго визначено, що від фази «виходу в трубку» до часу «викидання волоті» проходить 19–20 діб; від викидання волоті до періоду «цвітіння» – 10–11 діб. Цвітіння-досягання насіння триває 25–28 діб, у цей час насіння має воскоподібну стиглість, а ще

через 15–16 діб – фіксували повне досягання насіння. У загальному на 2–7 діб тривалість окремих міжфазних періодів у сорго багаторічного сорту Парана була коротшою, ніж для сорту Колумбо.

У загальному за роки дослідження визначено, що вегетаційний період для сорту сорго багаторічного Колумбо змінювався у межах – від 130–135 діб та 110–122 діб – тривав для сорту Парана на варіантах застосування Агростимуліну (рис. 5.3).

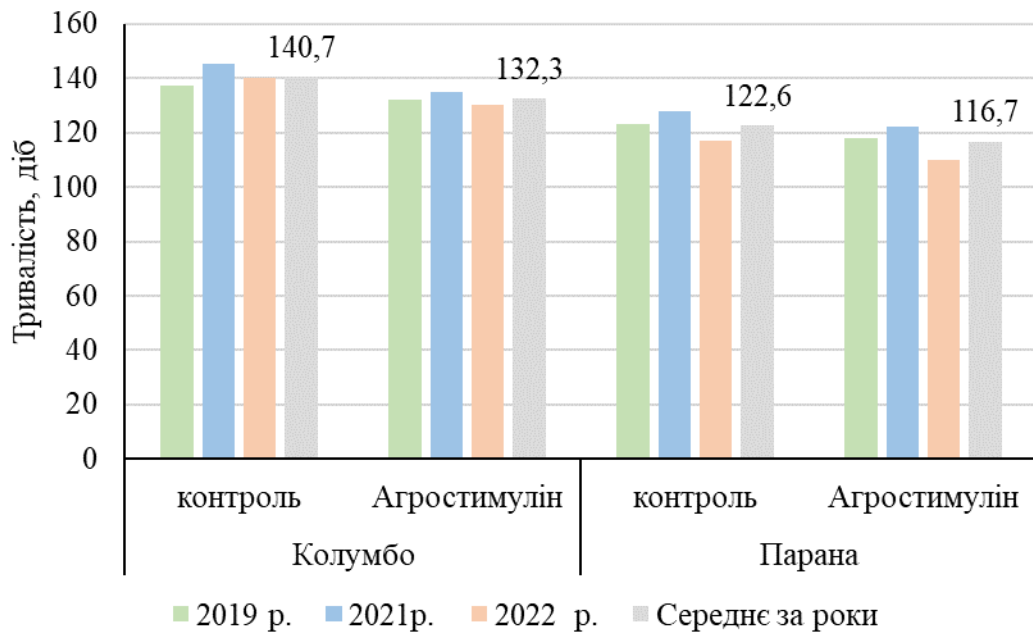


Рис. 5.3. Тривалість вегетаційного періоду сорго багаторічного, середнє за 2019-2022 рр.

У середньому за три роки дослідження у сорту Колумбо на варіантах застосування “Агростимуліну”, порівняно із контролем тривалість вегетаційного періоду знизилась на 8,4 діб, а у сорту Парана – на 5,9 діб.

Встановлено, що рослини сорго багаторічного за роки вирощування можуть досягати до 3–3,5 м висоти. Найбільш інтенсивний приріст рослин відбувається у літні місяці (у липні). Застосування “Агростимуліну” для допосівної підготовки насіння дозволяє скоротити тривалість початкових етапів росту та розвитку рослин. Це дозволяє контролювати рівень

забур'яненості посіві сорго багаторічного. А це, в свою чергу створює сприятливі умови для росту і розвитку рослин сорго.

5.2. Формування біометричних показників рослин сорго цукрового залежно від застосування препарату

Встановлено найбільшу висоту рослин на 3 варіанті (застосування Агростимуліну у позакореневій обробці посівів), що призводило до незначного вилягання посівів. Поряд з цим, визначено, що рослини сорго на 2 варіанті досліду (застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння) і на 4 варіанті (застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння та при листовій аплікації) мали середню висоту стеблостою порівняно із контрольними варіантами досліду (табл. 5.1).

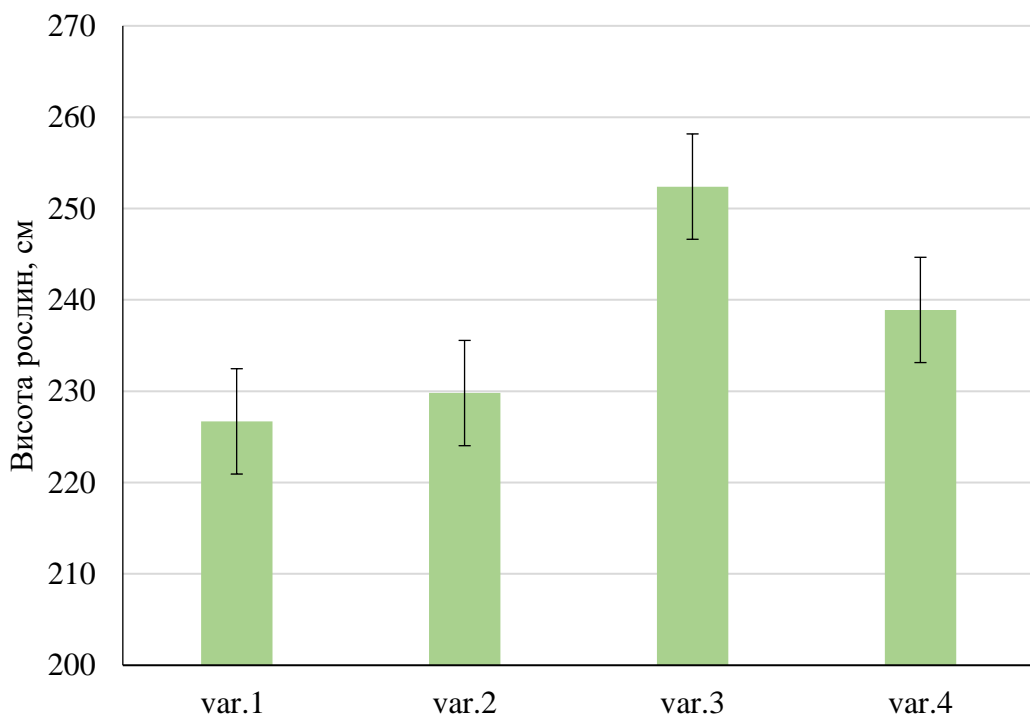
Таблиця 5.1

Висота рослин сорго багаторічного (см) сорту Колумбо, 2019–2022 рр.

Варіанти (Фактор Б)	Рік (фактор А)				Середнє за варіанта- ми	+ / – до контролю
	2019	2020	2021	2022		
варіант 1 (контр.)	157,8	210,2	311,8	226,8	226,7	–
варіант 2	160,2	215,5	312,4	231,2	229,8	3,2
варіант 3	175,4	234,7	354,2	245,2	252,4	25,7
варіант 4	167,8	221,2	331,2	235,4	238,9	12,3
Середнє за роками	165,3	220,4	327,4	234,7	236,9	–
НІР ₀₅ (фактор А)	–	–	–		6,22	
НІР ₀₅ (фактор Б)	1,32	0,91	0,53		0,78	
НІР ₀₅ (фактор АБ)	–	–	–		0,95	

Примітка: варіант 1 – контроль, варіант 2 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння, 3 – застосування Агростимуліну у позакореневій обробці посівів, 4 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння та при листовій аплікації.

Висота стеблостою сорго багаторічного в розрізі років дослідження варіювала від 157,8 до 354,2 см. З кожним роком приріст рослин у висоту збільшувався досить суттєво. На другий рік вегетації, порівняно із першим, висота рослин збільшилася і варіювала від 210,2 см (варіант 1) до 334,7 см (варіант 3). На третій вегетаційний рік, порівняно із другим цей показник відповідно варіантів зріс – до 311,8 см і до 354,2 см. Збільшення висоти рослин третього року вегетації, порівняно із першим за варіантами експерименту відповідно становив: варіант 1 – на 154,0 см, варіант 2 – на 152,2 см, варіант 3 – на 178,8 см (найбільше), варіант 4 – на 163,4 см. Висота рослин на четвертий рік знизилась від 226,8 до 235,4 см з найбільшим значенням на 3 варіанті. Це свідчить про те, що препарат Агростимулін при позакореневій обробці має більший вплив на зростання висоти рослин, ніж допосівна обробка насіння та комплексне його застосування на рослинах сорго багаторічного (рис. 5.4).



*Примітка: var.1 (контроль) – без обробки,
var.2 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння,
var.3 – застосування Агростимуліну у позакореневій обробці посівів,
var.4 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння та при листовій аплікації.

Рис. 5.4. Висота стеблостою сорго багаторічного (см) сорту Колумбо, середнє за 2019–2022 рр.

Також встановлена залежність між кількістю стебел у кущі рослин сорго багаторічного та застосуванням препарату Агростимулін за варіантами досліду (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

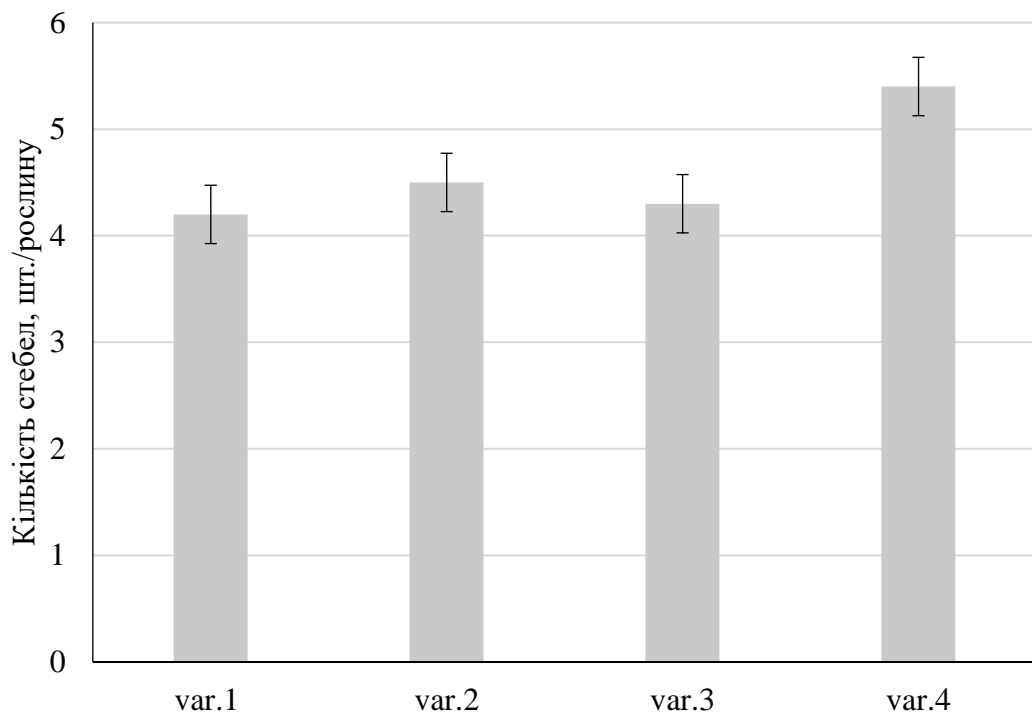
**Кількість продуктивних стебел у сорго багаторічного (шт./рослину)
сорт Колумбо, 2019–2022 рр.**

Варіанти (Фактор Б)	Рік (фактор А)				Середнє за варіанта- ми	+ / – до контролю
	2019	2020	2021	2022		
варіант 1 (контр.)	3,2	4,1	5,3	4,1	4,2	–
варіант 2	3,5	4,6	5,7	4,3	4,5	0,3
варіант 3	3,3	4,2	5,3	4,4	4,3	0,1
варіант 4	4,3	5,7	6,6	5,1	5,4	1,2
Середнє за роками	3,6	4,7	5,7	4,5	4,6	–
НІР ₀₅ (фактор А)	–	–	–	0,40	4,05	
НІР ₀₅ (фактор Б)	0,15	0,14	0,11	0,14	0,62	
НІР ₀₅ (фактор АБ)	–	–	–	0,13	0,90	

Примітка: варіант 1 – контроль, варіант 2 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння, 3 – застосування Агростимуліну у позакореневій обробці посівів, 2 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння та при листовій аплікації.

У рослин сорго багаторічного варіювання кількості продуктивних стебел у кущі в розрізі років дослідження було у межах – від 3,2 до 6,6 шт./рослину. Цей показник збільшувався досить суттєво у перший рік вегетації – від 3,2 до 4,2 шт./рослину. На другий вегетаційний рік, порівняно із першим, він зростав й варіював від 4,1 (варіант 1) до 5,7 шт./рослину (варіант 4). На третій вегетаційний рік, порівняно із другим цей показник відповідно варіантів зріс – до 5,3 і до 6,6 шт. Збільшення кількості стебел на рослину на другий рік вегетації, порівняно із першим за варіантами

експерименту відповідно становило: варіант 1 – на 0,9, варіант 2 – на 1,1, варіант 3 – на 0,9 та найбільше – на варіанті 4 – на 1,4 шт./рослину. Третій рік у порівнянні з другим збільшував густоту рослин відповідно варіантів досліду, на: 1,2; 1,1; 1,1 та 0,9 шт./рослину. Четвертий рік у порівнянні з третім зменшував густоту рослин відповідно варіантів досліду, на: 1,1; 1,4; 0,9 та 1,5 шт./рослину. Вусі роки дослідження найбільша кількість стебел на рослинах формувалася на варіанті комплексного застосування Агростимуліну. Тобто, використання Агростимуліну для обробки насіння та для позакореневої аплікації посівів має найбільший вплив на кількість стебел, що формуються у середньому на рослині (рис. 5.5).



**Примітка:*

var.1 (контроль) – без обробки,

var.2 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння,

var.3 – застосування Агростимуліну у позакореневій обробці посівів,

var.4 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння та при листковій аплікації.

Рис. 5.5. Густота стеблостою сорго багаторічного (шт./рослину) сорту Колумбо, середнє за 2019–2022 рр.

У загальному встановлення суттєве збільшення як висоти, так і густоти стеблостою сорго багаторічного на варіантах, де комплексно застосовували Агростимулін (допосівна обробка насіння та позакореневе підживлення рослин по вегетації). Що характерним є для усіх років дослідження та сортів поставлених на вивчення.

5.3. Вплив елементів технології вирощування на врожайність насіння сорго багаторічного

Варіювання насінневої врожайності сорго багаторічного за роки і в межах варіантів було від 1,1 до 1,9 т/га. Суттєво більші показники були отримані на варіанті 4 в розрізі усіх років проведення експерименту (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Урожайність насіння сорго багаторічного (т/га) сорту Колумбо, 2019–2022 рр.

Варіанти (Фактор Б)	Рік (фактор А)				Середнє за варіантами	+ / – до контролю
	2019	2020	2021	2022		
варіант 1 (контр.)	1,11	1,20	1,40	1,22	1,23	–
варіант 2	1,20	1,30	1,40	1,30	1,30	0,07
варіант 3	1,30	1,40	1,60	1,43	1,43	0,20
варіант 4	1,50	1,80	1,90	1,76	1,74	0,51
Середнє за роки	1,28	1,43	1,58	1,43	1,43	–
НІР ₀₅ (фактор А)	–	–	–	–	0,15	–
НІР ₀₅ (фактор Б)	0,08	0,09	0,11	0,14	0,10	–
НІР ₀₅ (фактор АБ)	–	–	–	–	0,09	–

Примітка: варіант 1 – контроль, варіант 2 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння, 3 – застосування Агростимуліну у позакореневій обробці посівів, 4 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння та при листовій аплікації.

Варіювання врожайності насіння сорго багаторічного в перший рік було – від 1,11 до 1,50 т/га. На другий рік – від 1,20 до 1,80 т/га, на третій – від 1,40

до 1,90 т/га, а на четвертий – від 1,22 до 1,76 т/га. Найбільше значення за даним показником визначено на варіантах комплексного використання Агростимуліну (1,50–1,90 т/га), найнижче – на контролі (1,11–1,40 т/га).

Подібні тенденції, але з меншими значення ми отримали при визначенні впливу застосування препарату на урожайність насіння сорго багаторічного сорту Парана (табл. 5.6, рис. 5.5).

Таблиця 5.6

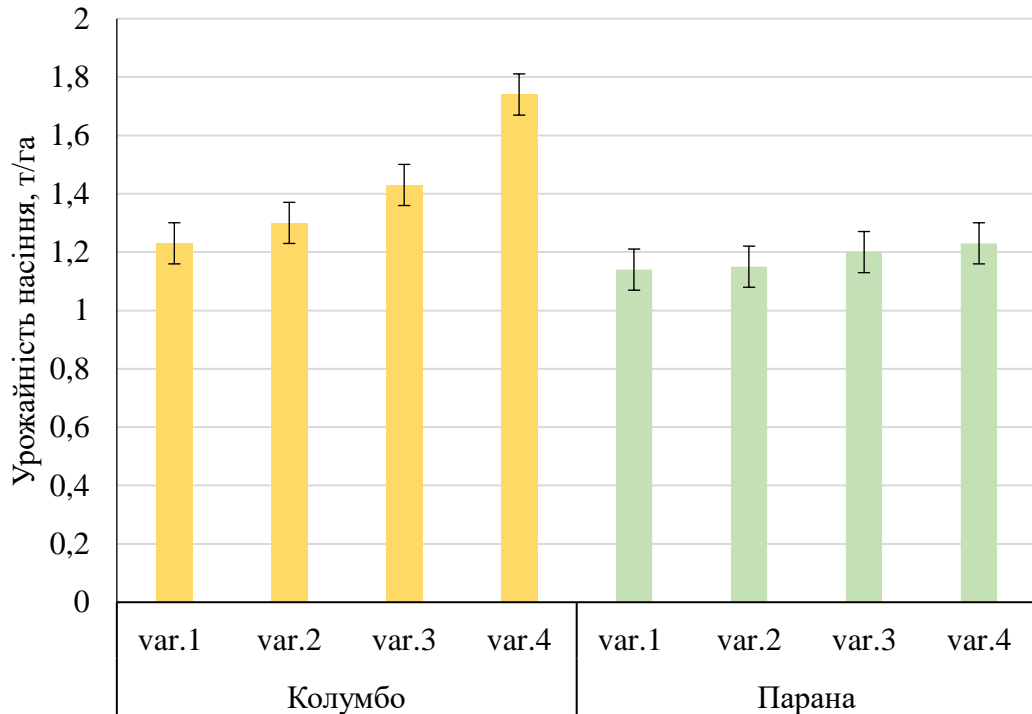
**Урожайність насіння сорго багаторічного (т/га) сорту Парана,
2019–2022 рр.**

Варіанти (Фактор Б)	Рік (фактор А)				Середнє за варіантами	+ / – до контролю
	2019	2020	2021	2022		
варіант 1 (контр.)	1,08	1,12	1,15	1,20	1,14	–
варіант 2	1,12	1,13	1,15	1,20	1,15	0,01
варіант 3	1,15	1,20	1,22	1,23	1,20	0,06
варіант 4	1,19	1,23	1,26	1,25	1,23	0,09
Середнє за роками	1,14	1,17	1,20	1,22	1,18	–
НІР ₀₅ (фактор А)	–	–	–	–	0,17	–
НІР ₀₅ (фактор Б)	0,12	0,08	0,12	0,10	0,09	–
НІР ₀₅ (фактор АБ)	–	–	–	–	0,11	–

Примітка: варіант 1 – контроль, варіант 2 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння, 3 – застосування Агростимуліну у позакореневій обробці посівів, 4 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння та при листовій аплікації.

Мінливість врожайності насіння сорго багаторічного в розрізі варіантів дослідження в перший рік було – від 1,08 до 1,19 т/га. На другий рік – від 1,12 до 1,23 т/га, на третій – від 1,15 до 1,26 т/га, а на четвертий – від 1,20 до 1,25 т/га. Найбільше значення за даним показником визначено на варіантах комплексного використання Агростимуліну (1,19–1,26 т/га), найнижче – на контролі (1,08–1,20 т/га).

Загальна врожайність насіння сорго багаторічного сортів Колумбо і Парана за варіантами дослідів в середньому за чотири роки наведена на рис. 5.6.



**Примітка:*

var.1 (контроль) – без обробки,

var.2 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння,

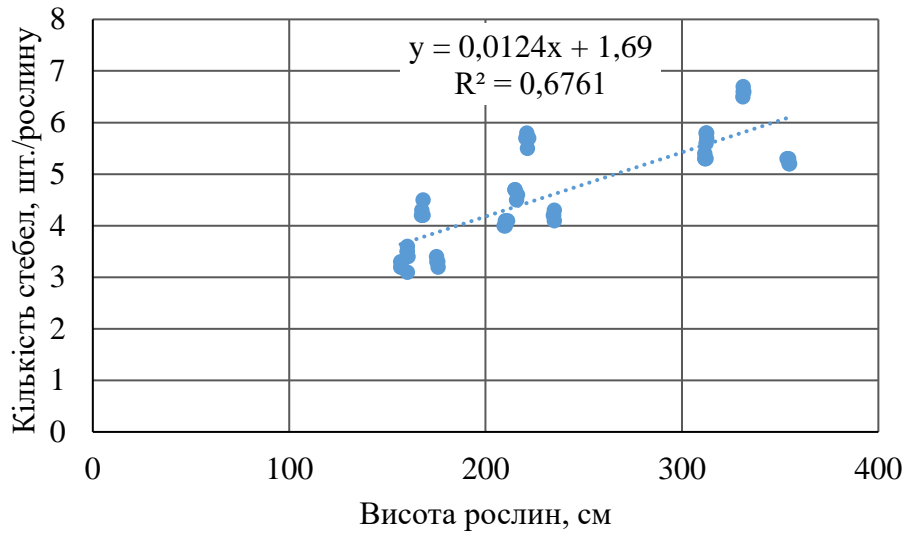
var.3 – застосування Агростимуліну у позакореневій обробці посівів,

var.4 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння та при листовій аплікації.

Рис. 5.6. Загальна врожайність насіння (т/га) сорго багаторічного сорту Колумбо і Парана, середнє за 2019–2022 рр.

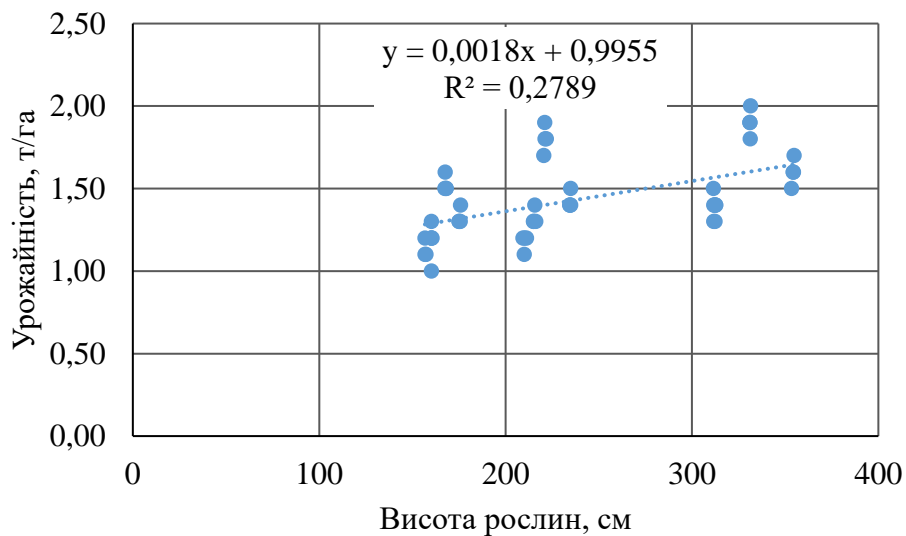
У загальному за роки на варіантах комплексного застосування Агростимуліну отримали суттєве збільшення врожайності насіння сорго багаторічного для сорту Колумбо (1,74 т/га), що істотно перевищувало контроль на 1,50 т/га та сорту Парана, відповідно 1,23 т/га (+0,09 т/га).

Встановлені щільні зв'язки середньої сили між висотою та густиною стеблостою, а також взаємовплив цих показників на врожайність насіння сорго багаторічного (рис. 5.7–5.10).



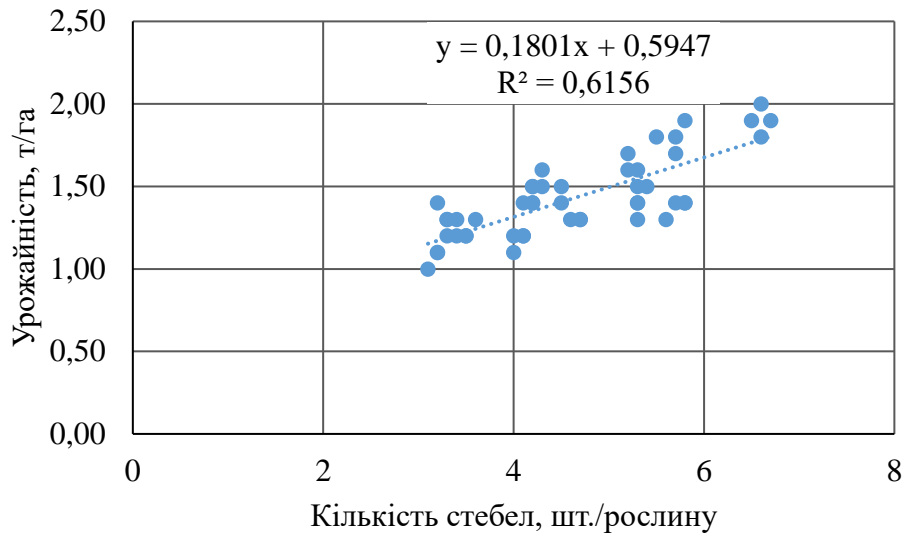
Примітка: зв'язок суттєвий при 5 % рівні значущості.

Рис. 5.7. Залежність між висотою стеблостою та кількістю стебел на рослині сорго багаторічного, 2019–2022 рр.



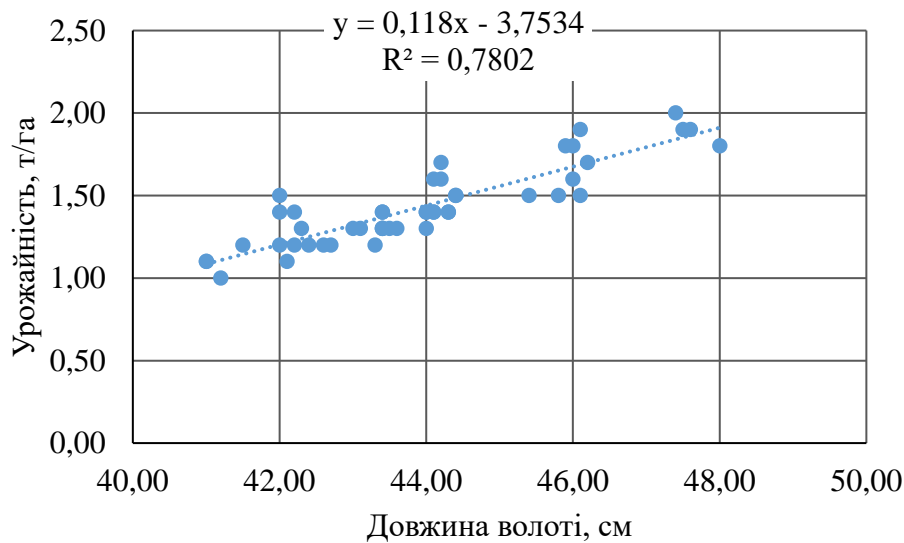
Примітка: зв'язок суттєвий при 5 % рівні значущості.

Рис. 5.8. Залежність між висотою стеблостою та врожайність насіння сорго багаторічного, 2019–2022 рр.



Примітка: зв'язок суттєвий при 5 % рівні значущості.

Рис. 5.9. Залежність між кількістю стебел на рослині та врожайністю насіння сорго багаторічного, 2019–2022 рр.



Примітка: зв'язок суттєвий при 5 % рівні значущості.

Рис. 5.10. Залежність між довжиною волоті та врожайністю насіння сорго багаторічного, 2019–2022 рр.

Отже, на формування насінневої врожайності сорго багаторічного в більшій мірі впливатиме середня довжина волоті ($R^2 = 0,78$) та кількість

продуктивних стебел на рослині ($R^2 = 0,62$), аніж висота стеблостою ($R^2 = 0,29$).

5.4. Вплив елементів технології вирощування на врожайність біомаси сорго багаторічного

Застосування препарату «Агростимулін» додаткового по вегетації позитивно впливало на висоту та густоту стеблостою сорго, та дозволяє у кінцевому результаті збільшити не тільки врожайність насіння, але й біомаси (табл.5,7-5.8).

Таблиця 5.7

Урожайність біомаси сорго багаторічного (т/га) сорту Колумбо, 2019–2022 рр.

Варіанти	Рік				Середнє за варіантами	+ / – до контролю
	2019	2020	2021	2022		
варіант 1 (контр.)	7,8	11,7	12,0	11,4	10,7	–
варіант 2	8,2	12,1	12,2	12,1	11,2	0,4
варіант 3	9,7	12,2	12,6	12,5	11,8	1,1
варіант 4	10,8	12,3	12,7	12,6	12,1	1,4
Середнє за роками	9,1	12,1	12,4	12,2	11,5	-
НІР ₀₅	0,78	0,28	0,35	0,40	0,52	–

Примітка: варіант 1 – контроль, варіант 2 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння, 3 – застосування Агростимуліну у позакореневій обробці посівів, 2 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння та при листовій аплікації.

Варіювання врожайності біомаси за досліджуваними варіантами для сорту Колумбо в розрізі років становило: перший – від 7,8 до 10,8 т/га, другого – від 11,7 до 12,3 т/га, третього – від 12,0 до 12,7 т/га, та четвертого – від 11,4 до 12,6 т/га. При цьому спостерігається динаміка зниження врожаю на 4 рік вегетації сорго багаторічного сорту Парана.

Найбільша врожайність біомаси формувалася на варіантах комплексного застосування препарату.

Тримірні графіки впливу сорту та застосування препарату Агростимулін дають можливість змодельювати їх вплив на врожайність сорго багаторічного, за чотири вегетаційні роки. Що також підтверджуються розрахованими рівняннями регресійної залежності між показниками рис. 5.11-5.12.

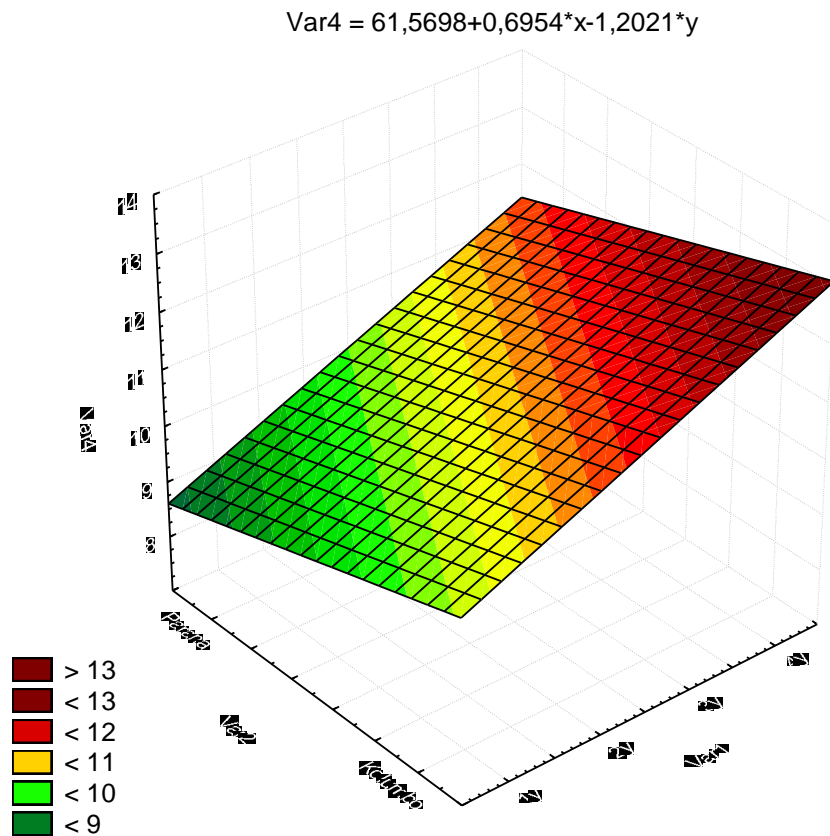


Рис. 5.11. Тримірна модель впливу сорту на врожайність сорго багаторічного, за чотири вегетаційні роки, 2019-2022 рр.

Залежність між врожайністю сухої біомаси та сортом сорго багаторічного за роки дослідження можливо описати регресійним рівнянням:
 $z = 61,57 + 0,69 \times x - 1,20 \times y.$

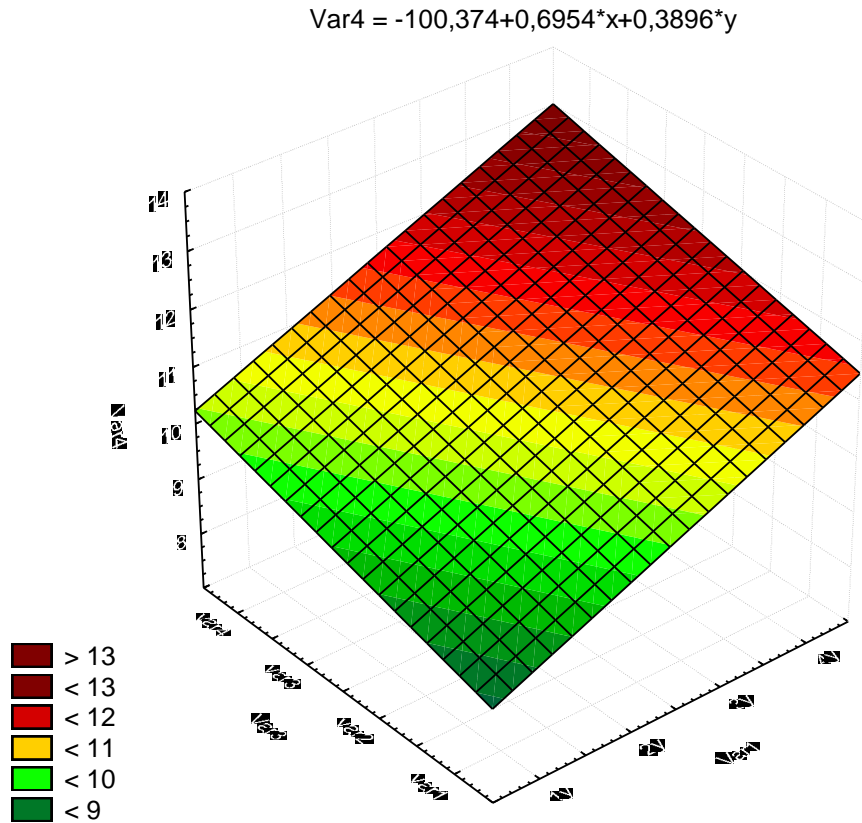


Рис. 5.12. Тримірна модель впливу застосування препарату на врожайність сорго багаторічного, за чотири вегетаційні роки, 2019-2022 рр.

Залежність між застосуванням препарату та врожайністю сухої біомаси сорго багаторічного за роки дослідження можливо описати регресійним рівнянням: $z = 100,34 + 0,69 \times x - 0,39 \times y$.

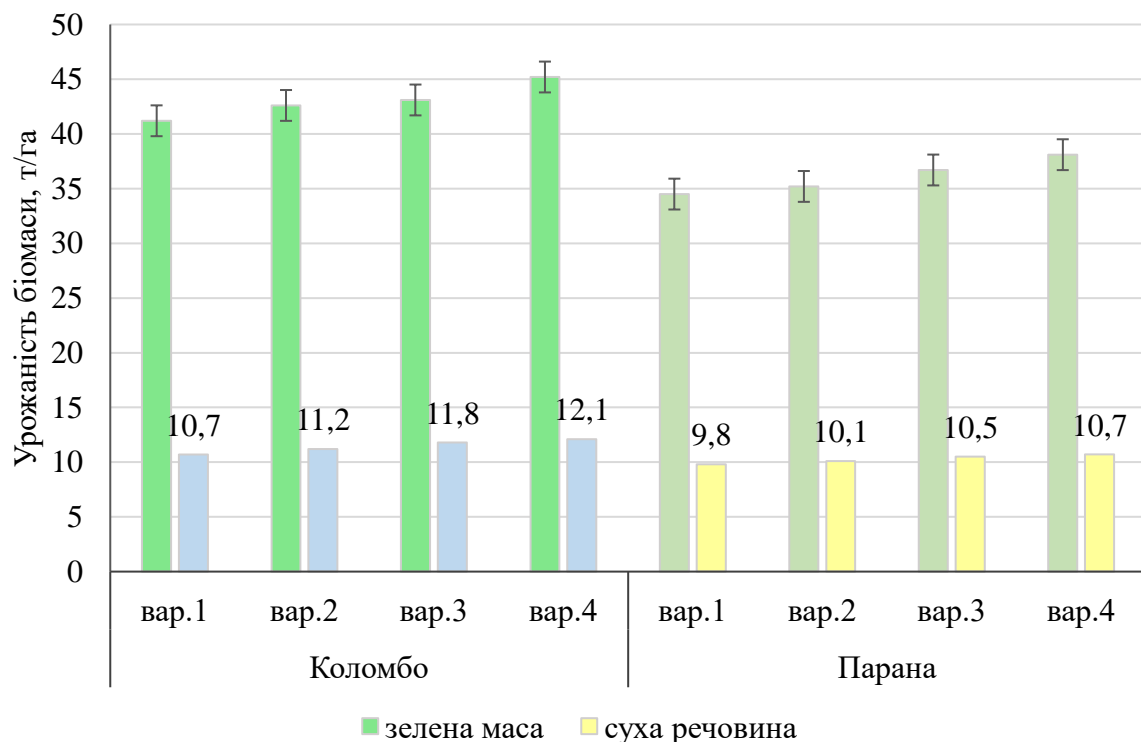
Для сорго багаторічного сорту Парана спостерігалася подібна тенденція, але із нижчими показниками за врожайністю біомаси. За варіанти досліду в розрізі років дослідження відмочено суттєве зростання врожаю від першого по третій рік та зниженням його на 4 рік вегетації культури. Комплексне застосування Агростимуліну дозволило збільшити врожайність біомаси від 9,2 до 10,7 т/га (табл. 5.8, рис. 5.13).

Таблиця 5.8

**Урожайність біомаси сорго багаторічного (т/га) сорту Парана,
2019–2022 рр.**

Варіанти (Фактор В)	Рік (фактор А)				Середнє за варіантами	+ / – до контролю
	2019	2020	2021	2022		
варіант 1 (контр.)	8,7	10,0	10,2	10,1	9,8	-
варіант 2	8,9	10,4	10,5	10,4	10,1	0,3
варіант 3	9,5	10,6	10,9	10,8	10,5	0,8
варіант 4	9,6	10,9	11,2	11,1	10,7	0,9
Середнє за роками	9,2	10,5	10,7	10,6	10,3	-
HP ₀₅ (фактор А)	0,14	0,22	0,17	0,18	0,11	-

Примітка: варіант 1 – контроль, варіант 2 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння, 3 – застосування Агростимуліну у позакореневій обробці посівів, 4 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння та при листовій аплікації.



Примітка: варіант 1 – контроль, варіант 2 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння, 3 – застосування Агростимуліну у позакореневій обробці посівів, 4 – застосування Агростимуліну у допосівну підготовку насіння та при листовій аплікації.

**Рис. 5.13. Урожайність біомаси сорго багаторічного сорту Коломбо
та Парана, середнє за 2019-2022 рр.**

Таблиця 5.8

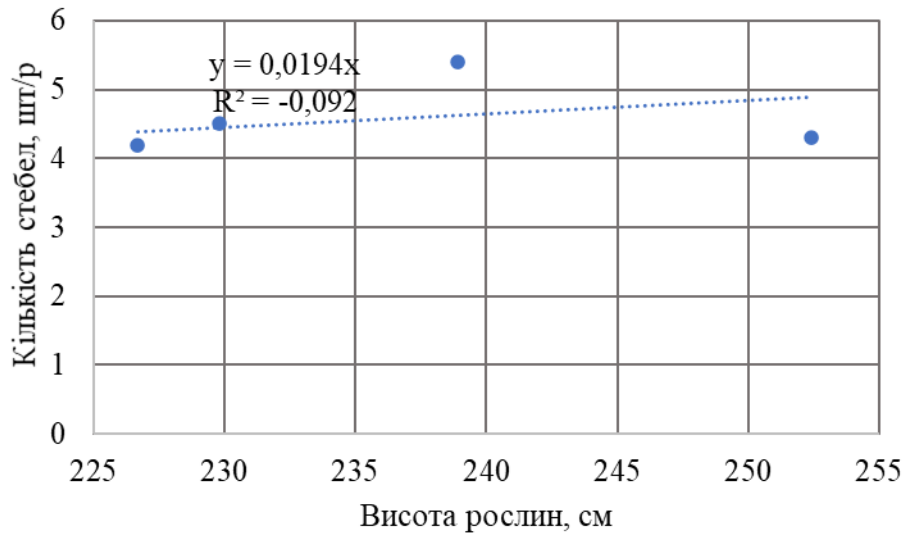
Урожайність сорго багаторічного в умовах Лісостепу залежно від застосування препарату, за 4 роки вегетації

Сорт (Factor B)	Застосування препарату (Factor C)	Рік вегетації Factor A				Середнє	Сума
		1-й	2-й	3-й	4-й		
Коломбо	варіант 1 (контр.)	7,8	11,7	12	11,4	10,7	42,9
	варіант 2	8,2	12,1	12,2	12,1	11,2	44,6
	варіант 3	9,7	12,2	12,6	12,5	11,8	47,0
	варіант 4	10,8	12,3	12,7	12,6	12,1	48,4
Парана	варіант 1 (контр.)	8,7	10	10,2	10,1	9,8	39,0
	варіант 2	8,9	10,4	10,5	10,4	10,1	40,2
	варіант 3	9,5	10,6	10,9	10,8	10,5	41,8
	варіант 4	9,6	10,9	11,2	11,1	10,7	42,8
Середнє		9,2	10,5	10,7	10,6	10,9	-

НІР₀₅ (фактор А) 0,52
 НІР₀₅ (фактор В) 0,48
 НІР₀₅ (фактор С) 0,73
 НІР₀₅ (фактор А, В) 0,46
 НІР₀₅ (фактор В, С) 0,93
 НІР₀₅ (фактор А,С) 0,95
 НІР₀₅ (фактор А, В, С) 0,34

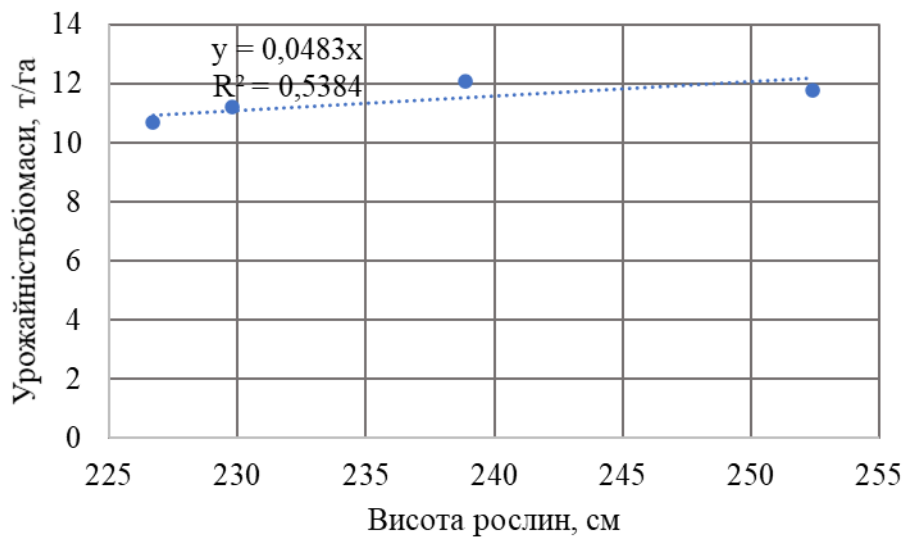
З-поміж варіантів поставлених на вивчення, у середньому за чотири роки дослідження встановлено найбільш суттєвий вплив на врожайність зеленої маси та сухої біомаси сорго багаторічного застосування допосівної обробка насіння та посівів препаратом Агростимулін. Для сорту Коломбо (45,2 т/га зеленої маси і 12,1 т/га сухої речовини) та сорт Парана (38,1 т/га зеленої маси і 10,7 т/га сухої речовини).

Відповідно регресійного аналізу визначено зв'язки між висотою та густотою стеблостою, а також взаємовплив цих показників на врожайність біомаси сорго багаторічного (рис. 5.14–5.16).



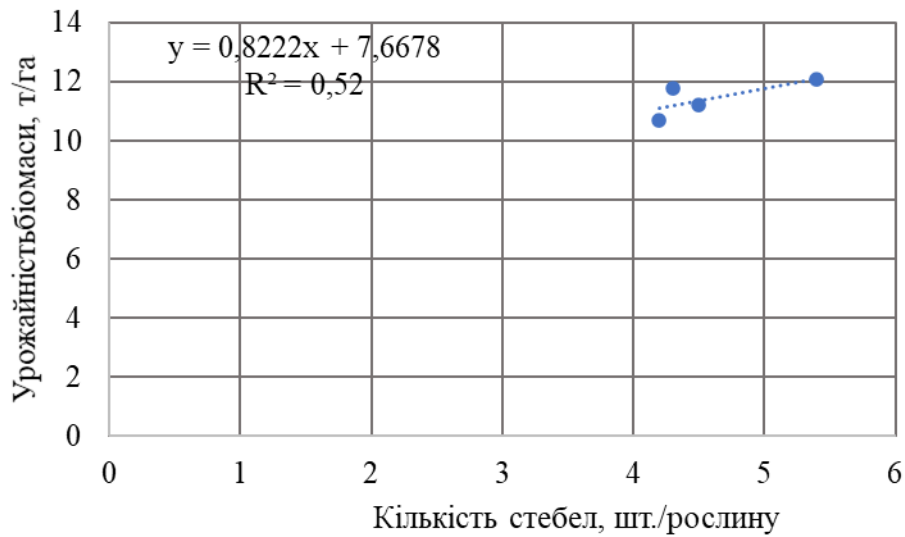
Примітка: зв'язок суттєвий при 5 % рівні значущості.

Рис. 5.14. Залежність між висотою стеблостою та кількістю стебел на рослині сорго багаторічного, 2019–2022 рр.



Примітка: зв'язок суттєвий при 5 % рівні значущості.

Рис. 5.15. Залежність між висотою стеблостою та врожайність біомаси сорго багаторічного, 2019–2022 рр.



Примітка: зв'язок суттєвий при 5 % рівні значущості.

Рис. 5.16. Залежність між кількістю стебел на рослині та врожайністю біомаси сорго багаторічного, 2019–2022 рр.

Таким чином, на формування врожайності біомаси сорго багаторічного в більшій мірі впливатиме середня висота стеблостою ($R^2 = 0,54$) та кількість продуктивних стебел на рослині ($R^2 = 0,52$).

Висновки до розділу:

1. Для умов Лісостепу України визначено, що тривалість міжфазних періодів сорго багаторічного залежала як від сортових властивостей, так і від застосування препарату, що застосовували у допосівну підготовку насіння та у під час весняного підживлення рослин по вегетації. При цьому відмічено зменшення тривалості вегетаційного періоду на варіантах застосування Агростимуліну для сорту Колумбо – на 8,4 діб (від 140,7 до 132,3 діб) та сорту Парана – на 5,9 діб (від 116,7 до 122,6 діб).

2. Найбільші біометричні показники рослин сортів сорго багаторічного формуються на варіантах комплексного застосування препарату Агростимулін. Для сорту Колумбо на цих варіантах отримали суттєве збільшення висоти стеблостою до 236,9 см та до 5,4 шт./рослину кількості продуктивних стебел, для сорту Парана ці показники на цих же варіантах досліду відповідно становили – 223,7 см та 5,1 5,4 шт./рослину

3. Комплексного застосування Агростимуліну суттєво впливає на збільшення врожайності насіння сорго багаторічного для сорту Колумбо (1,74 т/га), що істотно перевищувало контроль на 1,50 т/га та сорту Парана, відповідно 1,23 т/га (+0,09 т/га до контролю).

4. Встановлені кореляційно-регресійні залежності свідчать, що на формування насінневої врожайності сорго багаторічного в більшій мірі впливатиме середня довжина волоті ($R^2 = 0,78$) та кількість продуктивних стебел на рослині ($R^2 = 0,62$), аніж висота стеблостою ($R^2 = 0,29$). Ця особливість характерна для обох сортів: Колумбо та Парана.

5. Встановлено, що на формування врожайності біомаси сорго багаторічного досліджуваних сортів в більшій мірі впливатиме середня висота стеблостою ($R^2 = 0,54$) та кількість продуктивних стебел на рослині ($R^2 = 0,52$).

6. Встановлена багатомірна залежність між застосуванням препарату Агростимулін та врожайністю сухої біомаси сорго багаторічного за роки усі дослідження, що описано регресійним рівнянням: $z = 100,34 + 0,69 \times x - 0,39 \times y$.

7. Обґрунтовано, що найбільш істотний вплив на врожайність зеленої маси та сухої біомаси сорго багаторічного має допосівна обробка насіння та позакореневе підживлення посівів препаратом Агростимулін. Для сорту Коломбо в середньому за роки дослідження отримали врожай зеленої маси на рівні 45,2 т/га і 12,1 т/га сухої біомаси (в загальному за роки 48,4 т/га), а сорт Парана формував на цих варіантах 38,1 т/га зеленої маси і 10,7 т/га біомаси за сухою речовиною (в загальному за роки 42,8 т/га).

Основні положення розділу опубліковано:

Дьомін Д. Г., Кулик М. І., Михно Ю. В. Реалізація потенціалу насіннєвої продуктивності сорго багаторічного при застосуванні препарату «Агростимулін». Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2021. Вип. 4. С. 13–23. doi: 10.31210/visnyk2021.04.01 [145]

РОЗДІЛ 6
ЕНЕРГЕТИЧНА І ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ
ВИРОБНИЦТВА БІОМАСИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР ЗАЛЕЖНО
ВІД УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ
ВИРОЩУВАННЯ

6.1. Економічна ефективність виробництва біомаси енергетичних культур залежно від удосконалення елементів технології вирощування

Проведення економічної ефективності виробництва біомаси енергетичних культур дозволяє визначити найбільш ефективні заходи за їх вирощування. Що, в першу чергу залежить від удосконалення елементів агротехнології вирощування енергокультур. Але при цьому важливим чинником є ґрунтово-кдліматичні умови культивування енергокультури.

При проведенні даної економічної оцінки ми враховували основні економічні показники. Це і затрати на вирощування, що визначали згідно технологічних карт вирощування енергокультури по дослідам. Сюди ж відносимо виробничу й повну собівартість виробництва біомаси. Шляхом проведених розрахунків, відповідних затверджених методик визначали наступні показники: виручка від реалізації біомаси й валовий прибуток від її реалізації. Основний економічний показник – це рівень рентабельності виробництва біомаси. Він дає можливість оцінити окупність кожної гривні вкладених затрат на виробництво біомаси енергокультур.

При виробництві біомаси енергетичних культур в одновидових посівах, залежно від їх виду в умовах Степу отримали врожайність біомаси у межах – від 12,2 до 15,2 т/га, а в умовах Лісостепу цей показник варіював– від 8,9 до 13,2 т/га (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Економічна ефективність виробництва біомаси одновидових посівів енергетичних культур залежно умов вирощування, 2023 р.

Умови вирощування	Культура*	Урожайність, т/га	Показники економічної ефективності**				
			C _в	C _п	B _р	П _р	P _{вир}
Степ	Sw	15,2	7217,2	7551,4	14440	6888,6	91,2
	Bb	12,2	7045,0	7226,1	11590	4363,9	60,4
	Ig	12,9	7082,0	7254,4	12255	5000,6	68,9
Середнє за культурами		13,4	7114,7	7344,0	12761,7	5417,7	73,5
Лісостеп	Sw	13,2	7127,0	7344,5	12540	5195,5	70,7
	Bb	8,9	6122,3	6307,4	8455	2147,6	34,0
	Ig	10,2	6415,4	6550,1	9690	3139,9	47,9
Середнє за культурами		10,8	6554,9	6734,0	10228,3	3494,3	50,9

*Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутоподібного, Bb – одновидові посіви Біг-блуестему, Ig – одновидові посіви індіанграсу.

**Примітка: C_в – виробнича собівартість, грн/т; C_п – повна собівартість, грн/т; B_р – виручка від реалізації біомаси, грн; П_р – валовий прибуток від реалізації біомаси, грн; P – рівень рентабельності виробництва, %.

Визначено, що рівень рентабельності виробництва біомаси енергокультур залежно від умов вирощування. Цей економічний показник за вирощування енергокультури в умовах Степу та Лісостепу варіював у середньому в межах – від 50,9 до 73,5 %, що у середньому по енергокультурам становило 62,2 %.

Умови вирощування енергетичних культур в одновидових посівах у середньому дозволяють збільшити виручку реалізації продукції в Степу порівняно з Лісостепом на 2533,4 грн/га (до 12761,7 грн/га), та підвищити рівень рентабельності виробництва продукції в Степу порівняно з Лісостепом у середньому за три роки – до 73,5 % (рис. 6.1).

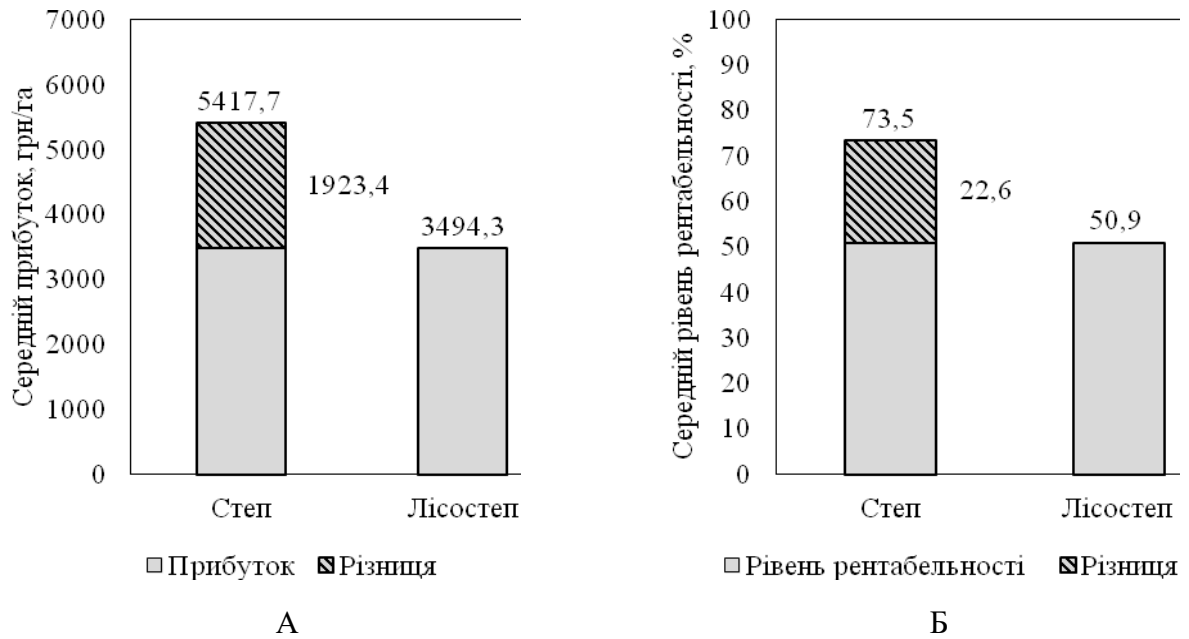


Рис. 6.1. Показники економічної ефективності (А – прибуток, Б – рівень рентабельності) виробництва біомаси енергетичних культур залежно від умов вирощування, середнє за 2023 р.

Виробництво біомаси енергетичних культур дозволяє підвищити їх врожайність, що в умовах Степу була в межах – від 12,6 до 15,4 т/га, а в умовах Лісостепу – від 9,6 до 14,1 т/га (табл. 6.2).

Таблиця 6.2

Економічна ефективність виробництва біомаси сумісних посівів енергетичних культур залежно умов вирощування, 2023 р.

Умови вирощування	Культура*	Урожайність, т/га	Показники економічної ефективності**				
			C_v	C_{Π}	B_p	Π_p	$R_{\text{вир}}$
Степ	Sw+Bb	15,2	7218,2	7548	14440	6892	91,3
	Sw+Ig	15,4	7304,5	7422,6	14630	7207,4	97,1
	Bb+Ig	12,6	7080,1	7155,4	11970	4814,6	67,3
Середнє за культурами		14,4	7200,9	7375,3	13680,0	6304,7	85,2
Лісостеп	Sw+Bb	11,4	7012,3	7113,4	10830	3716,6	52,2
	Sw+Ig	14,1	7120,5	7230,8	13395	6164,2	85,2
	Bb+Ig	9,6	6310,2	6451,1	9120	2668,9	41,4
Середнє за культурами		11,7	6814,3	6931,8	11115,0	4183,2	59,6

*Примітка: Sw+Bb – сумісні посіви проса прутоподібного та Біг-блуестему, Sw+Ig – сумісні посіви проса прутоподібного та індіанграсу, Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блуестему.

**Примітка: C_v – виробнича собівартість, грн/т; C_n – повна собівартість, грн/т; V_p – виручка від реалізації біомаси, грн; P_p – валовий прибуток від реалізації біомаси, грн; P – рівень рентабельності виробництва, %.

Відмічено зміну показника рівення рентабельності виробництва біомаси енергокультур у сумісних посівах в розрізі умов вирощування, він варіював у межах – від 59,6 до 85,2 %.

Умови вирощування енергокультур у сумісних посівах у середньому дозволяє збільшити виручку реалізації продукції в Степу порівняно з Лісостепом на 2565 грн/га (до 13680 грн/га), та підвищити рівень рентабельності виробництва продукції в Степу порівняно з Лісостепом у середньому за три роки – до 85,2 % (рис. 6.2).

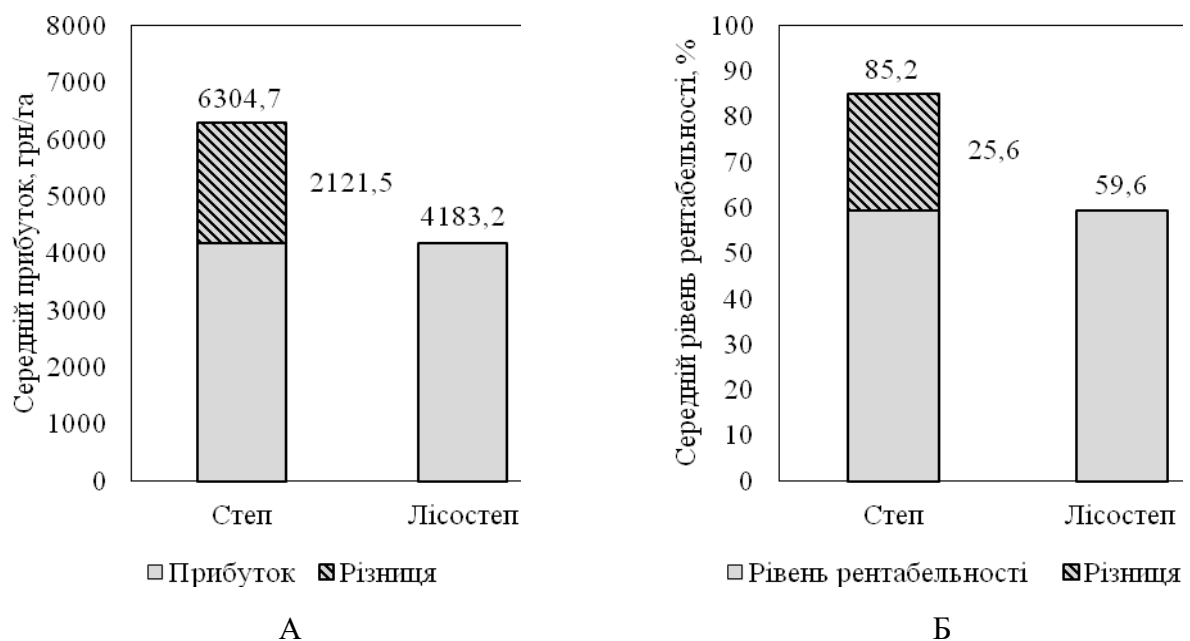


Рис. 6.2. Показники економічної ефективності (А – прибуток, Б – рівень рентабельності) виробництва біомаси енергетичних культур залежно від умов вирощування, 2023 р.

За визначення економічної ефективності підживлення різновидових посівів енергокультур в умовах Лісостепу встановлено мінливість їх показників економічної ефективності (табл. 6.3).

Таблиця 6.3

Економічна ефективність виробництва біомаси сумісних посівів енергетичних культур залежно умов вирощування, 2023 р.

Спосіб вирощування	Підживлення посівів	Урожайність, т/га	Показники економічної ефективності**				
			C _в	C _п	B _р	П _р	P _{вир}
Sw	var.1	13,2	7125,0	7341,5	12540	5198,5	70,8
	var.2	13,6	7132,0	7305,5	12920	5614,5	76,9
Bb	var.1	8,9	6122,3	6307,4	8455	2147,6	34,0
	var.2	9,2	6311,2	6452,1	8740	2287,9	35,5
Ig	var.1	10,2	6415,4	6550,1	9690	3139,9	47,9
	var.2	10,5	6422,3	6558,7	9975	3416,3	52,1
Sw+Bb	var.1	11,4	7012,3	7113,4	10830	3716,6	52,2
	var.2	11,7	7086,5	7120,8	11115	3994,2	56,1
Sw+Ig	var.1	14,1	7120,5	7230,8	13395	6164,2	85,2
	var.2	14,5	7145,5	7241,3	13775	6533,7	90,2
Bb+Ig	var.1	9,6	6310,2	6451,1	9120	2668,9	41,4
	var.2	9,9	9385,7	6464,2	9405	2940,8	45,5

*Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутоподібного (варіант 1, контроль), Bb – одновидові посіви Біг-блюестему (варіант 2, ум. контроль), Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 3, ум. контроль), Sw+Bb – сумісні посіви проса прутоподібного та Біг-блюестему (варіант 4), Sw+Ig – сумісні посіви проса прутоподібного та індіанграсу (варіант 5), Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блюестему (варіант 6).

**var.1 -без підживлення (контроль), var.2 – підживлення посівів.

Найбільший прибуток вдалося отримати при способі вирощування Sw+Ig – 6533,7 грн/га з приростом на 369,5 грн/га. Водночас найбільший приріст взагалі відбувався при вирощуванні способом Sw на 416,0 грн/га (до 5614,5 грн/га) (рис. 6.3).

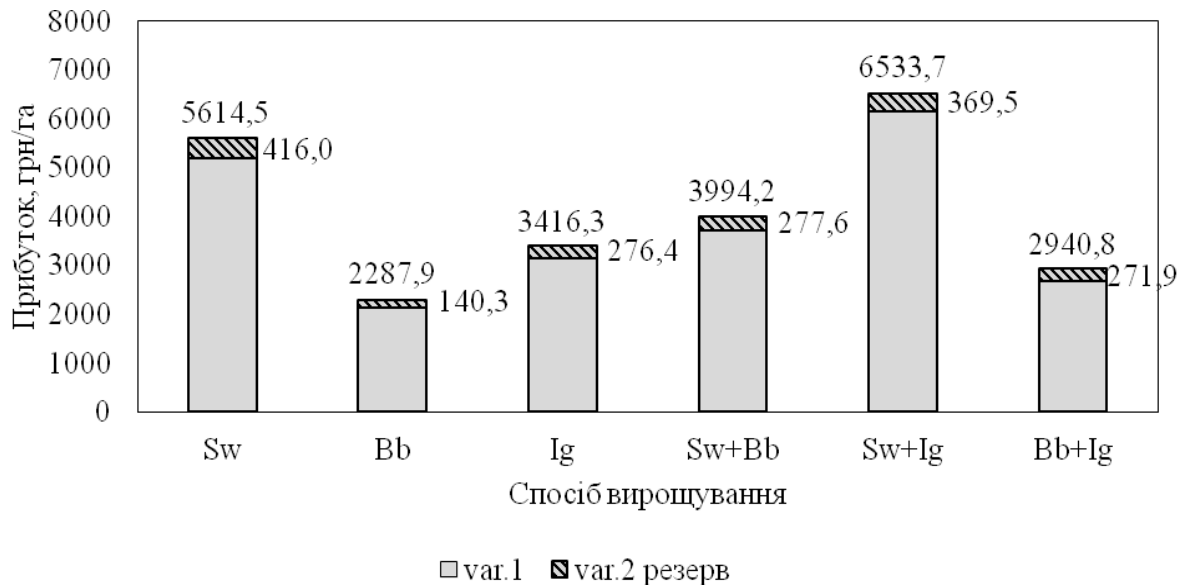


Рис. 6.3. Показники економічної ефективності (прибуток) виробництва біомаси енергетичних культур залежно від підживлення, 2023 р.

Найбільший рівень рентабельності вдалося отримати при способі вирощування Sw+Ig – 90,2 % з приростом на 5 %. Водночас найбільший приріст взагалі відбувався при вирощуванні способом Sw на 6,1 % (до 76,9 %) (рис. 6.3).

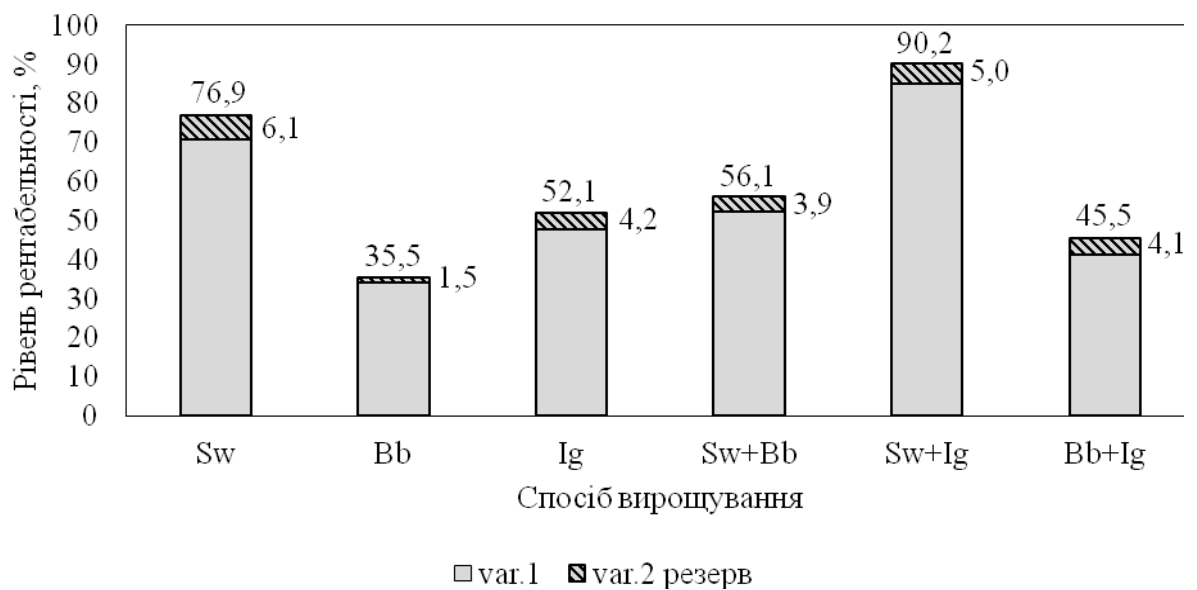


Рис. 6.4. Показники економічної ефективності (рівень рентабельності) виробництва біомаси енергетичних культур залежно від підживлення, 2023 р.

Таблиця 6.4

**Економічна ефективність виробництва біомаси сорго
багаторічного залежно умов вирощування, середнє за 2019-2022 рр.**

Сорт	Варіанти*	Урожай- ність, т/га	Показники економічної ефективності**				
			С _в	С _п	В _р	П _р	Р _{вир}
Колумбо	var.1	11,4	6689,7	6705,8	10830	4124,2	61,5
	var.2	11,5	6721,7	6803,0	10925	4122	60,6
	var.3	11,9	6908,3	6994,7	11305	4310,3	61,6
	var.4	12,1	7012,2	7093,4	11495	4401,6	62,1
Середнє значення		11,7	6833,0	6899,2	11138,8	4239,5	61,4
Парана	var.1	9,6	6310,2	6451,1	9120	2668,9	41,4
	var.2	9,7	6375,4	6463,2	9215	2751,8	42,6
	var.3	10,2	6415,4	6550,1	9690	3139,9	47,9
	var.4	10,5	6433,5	6558,7	9975	3416,3	52,1
Середнє значення		10,0	6383,6	6505,8	9500,0	2994,2	46,0

**Примітка:* var.1 – контроль, var.2 – допосівна обробка насіння препаратом Агростимулін, var.3 – позакоренева обробка посівів препаратом Агростимулін, var.4 – допосівна обробка насіння та посівів препаратом Агростимулін

Вирощування сорго багаторічного сорту Колумбо в середньому дозволяє досягти прибутку 4239,5 грн/га, що на 1245,3 грн/га більше ніж при вирощуванні сорту Парана. Окрім цього, при вирощуванні сорту Колумбо досягається рівень рентабельності – 61,4 %, що на 15,4 % більше ніж при вирощуванні сорту Парана (рис. 6.5).

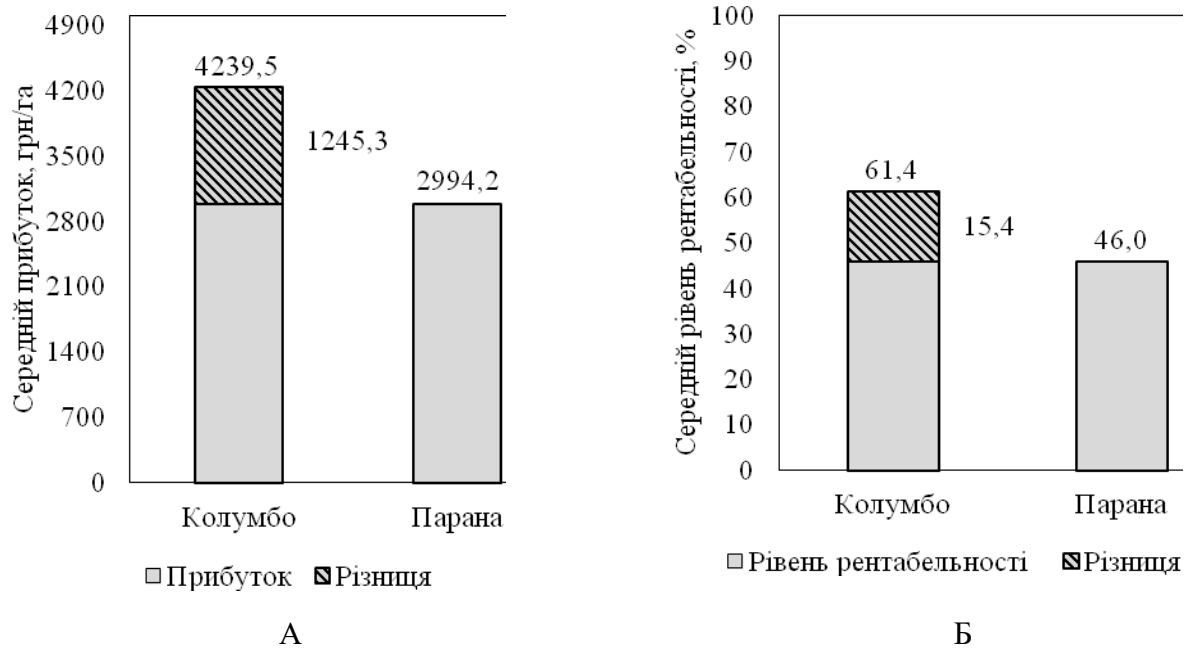


Рис. 6.5. Показники економічної ефективності (А – прибуток, Б – рівень рентабельності) виробництва біомаси сорго багаторічного залежно від підживлення, середнє за 2019-2022 рр.

Такми чином, виокремлені варіанти найбільш економічного доцільного вирощування енергетичних культур. Що досягається шляхом удосконалення елементів агротехнології.

6.2. Енергетична ефективність виробництва біомаси енергетичних культур залежно від удосконалення елементів технології вирощування

Розрахунок енергетичної ефективності виробництва біомаси енергокультур при застосовуванні енергозатрат при тій чи іншій агротехнології виробництва біомаси проводили з урахуванням її енергоємності. Цей показник суттєво залежав від вмісту енергії в біомасі, що для досліджуваних енергетичних культур в одновидових посівах та їх сумішок варіював у межах від 15,9 до 16,5 МДж/кг (табл. 6.5-6.6).

Таблиця 6.5

Енергетична ефективність виробництва біомаси у одновидових посівів енергетичних культур залежно умов вирощування, 2023 р.

Умови вирощування	Культура*	Урожайність, т/га	Показники енергетичної ефективності**					
			$V_{тб}$	$E_{пр}$	E_c	EM	P_p	$K_{еe}$
Степ	Sw	15,2	16,7	275,9	83,1	5,0	192,8	3,3
	Bb	12,2	13,4	214,7	77,2	5,8	137,5	2,8
	Ig	12,9	14,2	225,6	78,1	5,5	147,5	2,9
Середнє за культурами		13,4	14,8	238,7	79,5	5,4	159,3	3,0
Лісостеп	Sw	13,2	14,5	239,6	78,9	5,4	160,7	3,0
	Bb	8,9	9,8	156,6	70,5	7,2	86,1	2,2
	Ig	10,2	11,2	178,4	73,4	6,6	105,0	2,4
Середнє за культурами		10,8	11,8	191,5	74,3	6,4	117,3	2,6

*Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутоподібного, Bb – одновидові посіви Біг-блуестему, Ig – одновидові посіви індіанграсу.

**Примітка: $V_{тб}$ – вихід твердого біопалива, т/га; $E_{пр}$ – сукупна енергія, накопичена в біомасі, ГДж/га; E_c – сукупні витрати енергетичних ресурсів на 1 га посівів, ГДж/га; EM – енергомідкість технології виробництва, ГДж/т; P_p – енергетичний прибуток вирощування біомаси, ГДж/га; $K_{еe}$ – коефіцієнт енергетичної ефективності.

За результатами обрахунків енергоефективності виробництва біомаси енергокультру визначено наступні особливості. Встановлено, що із зменшенням витрат енергії на агротехнологічні операції (за багаторічного циклу вирощування досліджуваних енергетичних культур) в одновидових посівах збільшується коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва їхньої біомаси (рис. 6.6).

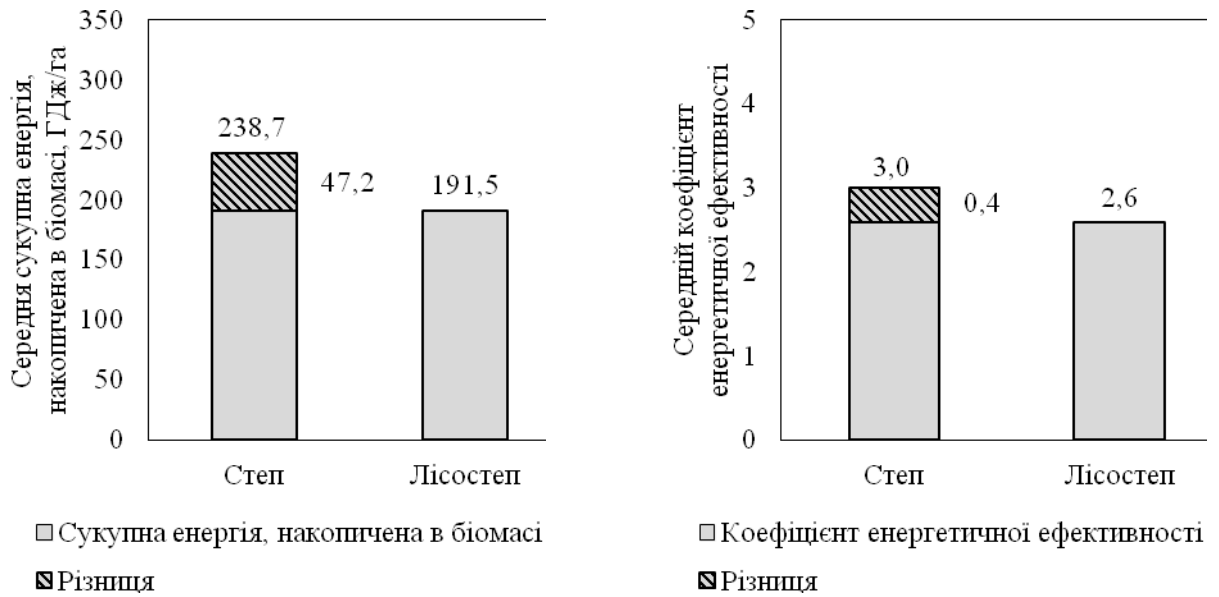


Рис. 6.6. Показники енергетичної ефективності (А – сукупна енергія, накопичена в біомасі, Б – коефіцієнт енергетичної ефективності) виробництва біомаси енергетичних культур залежно від умов вирощування у одновидових посівах, 2023 р.

З-поміж енергокультур в умовах Степу найбільшу сукупну енергію, накопичену в біомасі забезпечило просо прутоподібне (варіант Sw) – 275,9 ГДж/га. Суттєво нижчим цей показник був у біг-блюестему (варіант Bb) – 214,7 ГДж/га за середнього рівня енергетичної ефективності відповідно K_{ee} – 3,0.

Для умов Лісостепу більш енергоефективним буде вирощування проса прутоподібного (Sw) у монопосівах, при ньому отримали K_{ee} на рівні 3,0.

Енергетична ефективність виробництва біомаси у сумісних посівах енергетичних культур залежно умов різних вирощування: Степу і Лісостепу наведено у табл. 6.6. При цьому, встановлено, що в умовах Степу врожайність біомаси енергокультур змінювалася у межах – від 13,9 до 16,7 т/га (в середньому – 15,8 т/га). Для умов Лісостепу мінливість цього показника продуктивності було – від 9,6 до 14,1 т/га га (в середньому – 12,9 т/га).

Таблиця 6.6

Енергетична ефективність виробництва біомаси у сумісних посівах енергетичних культур залежно умов вирощування, 2023 р.

Умови вирощування	Культура*	Урожайність, т/га	Показники енергетичної ефективності**					
			Втб	Епр	Ес	ЕМ	Пр	К _{еє}
Степ	Sw+Bb	15,2	16,7	275,9	84,1	5,0	191,8	3,3
	Sw+Ig	15,4	16,9	271,0	84,9	5,0	186,1	3,2
	Bb+Ig	12,6	13,9	220,4	77,3	5,6	143,1	2,9
Середнє за культурами		14,4	15,8	255,8	82,1	5,2	173,7	3,1
Лісостеп	Sw+Bb	11,4	12,5	206,9	76,4	6,1	130,5	2,7
	Sw+Ig	14,1	15,5	248,2	85,2	5,5	163,0	2,9
	Bb+Ig	9,6	10,6	167,9	74,1	7,0	93,8	2,3
Середнє за культурами		11,7	12,9	207,7	78,6	6,2	129,1	2,6

*Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутподібного, Bb – одновидові посіви Біг-блуестему, Ig – одновидові посіви індіанграсу.

**Примітка: Втб – вихід твердого біопалива, т/га; Епр – сукупна енергія, накопичена в біомасі, ГДж/га; Ес – сукупні витрати енергетичних ресурсів на 1 га посівів, ГДж/га; ЕМ – енергомiсткiсть технологiї виробництва, ГДж/т; Пр – енергетичний прибуток вирощування біомаси, ГДж/га; К_{еє} – коефіцієнт енергетичної ефективності.

Визначено, що за вирощування енергокультур у сумісних посівах, порівняно із одновидовими збільшується як кількість отриманої енергії, так коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва біомаси (рис. 6.7).

За вирощування у сумісних посівах енергокультур в умовах Степу найбільшу сукупну енергію, накопичену в біомасі формували посіви проса прутподібного й біг-блуестему (Sw+Bb) – 275,9 ГДж/га, суттєво нижчими ці показники були у сумісних посівах віг-блуестему та сорговника пониклого (Bb+Ig) – 220,4 ГДж/га за середнього рівня енергетичної ефективності відповідно К_{еє} – 3,1. Для умов Лісостепу більш енергоефективним буде вирощування проса прутподібного та сорговника пониклого (Sw+Ig) у сумісних посівах, при ньому отримали К_{еє} на рівні 2,9.

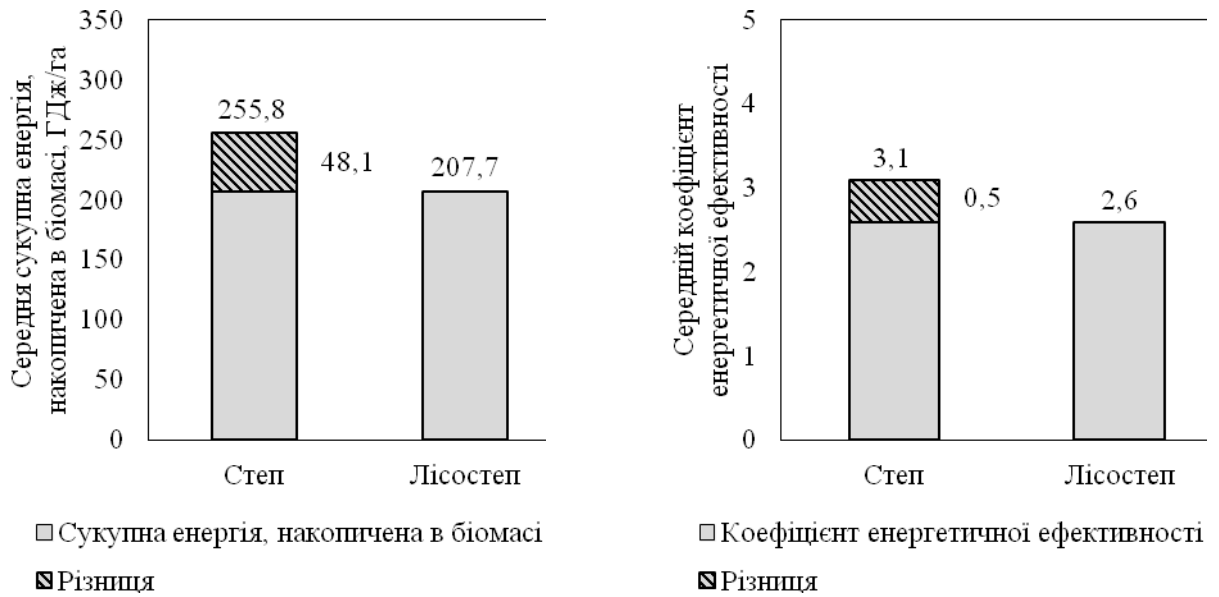


Рис. 6.7. Показники енергетичної ефективності (А – сукупна енергія, накопичена в біомасі, Б – коефіцієнт енергетичної ефективності) виробництва біомаси енергетичних культур залежно від умов вирощування у сумісних посівах, 2023 р.

За визначення енергетичної ефективності застосування підживлення різновидових посівів енергокультур в умовах Лісостепу встановлено мінливість їх показників енергетичної ефективності. При цьому встановлено варіювання як врожайності біомаси (від 8,9 до 14,5 т/га), так і виходу твердого біопалива. Останній показник в одновидових посівах був в межах – від 9,8 до 15,0 т/га, а в сумісних – значно вищим, та змінювався у межах – від 10,6 до 16,0 т/га. Відповідно на цих варіантах, після відповідних обрахунків отримали й більший показник сукупної енергії, що накопичена в біомасі. Цей показник в одновидових посівах був в межах – від 156,6 до 246,8 ГДж/га, а в сумісних 169,0-263,2 ГДж/га.

Визначено, до доказово вищими показники енергетичної ефективності виробництва біомаси були на варіантах підживлення енергопосівів препаратом Кристалон, у порівнянні з контрольними варіантами дослідження (табл. 6.7).

Таблиця 6.7

Енергетична ефективність виробництва біомаси сумісних посівів енергетичних культур залежно умов вирощування, 2023 р.

Спосіб вирощування*	Підживлення посівів**	Урожайність, т/га	Показники енергетичної ефективності***					
			$V_{тб}$	$E_{пр}$	E_c	EM	$П_p$	$K_{еe}$
Sw	var.1	13,2	14,5	232,3	78,8	5,4	153,5	2,9
	var.2	13,6	15,0	246,8	79,4	5,3	167,4	3,1
Bb	var.1	8,9	9,8	156,6	70,6	7,2	86,0	2,2
	var.2	9,2	10,1	167,0	72,4	7,2	94,6	2,3
Ig	var.1	10,2	11,2	179,5	73,9	6,6	105,6	2,4
	var.2	10,5	11,6	190,6	74,3	6,4	116,3	2,6
Sw+Bb	var.1	11,4	12,5	200,6	76,5	6,1	124,1	2,6
	var.2	11,7	12,9	212,4	77,1	6,0	135,3	2,8
Sw+Ig	var.1	14,1	15,5	248,2	80,2	5,2	168,0	3,1
	var.2	14,5	16,0	263,2	81,3	5,1	181,9	3,2
Bb+Ig	var.1	9,6	10,6	169,0	72,8	6,9	96,2	2,3
	var.2	9,9	10,9	179,7	73,1	6,7	106,6	2,5

*Примітка: Sw – одновидові посіви проса прутоподібного (варіант 1, контроль), Bb – одновидові посіви Біг-блюестему (варіант 2, ум. контроль), Ig – одновидові посіви індіанграсу (варіант 3, ум. контроль), Sw+Bb – сумісні посіви проса прутоподібного та Біг-блюестему (варіант 4), Sw+Ig – сумісні посіви проса прутоподібного та індіанграсу (варіант 5), Bb+Ig – сумісні посіви індіанграсу та Біг-блюестему (варіант 6).

**var.1 -без підживлення (контроль), var.2 – підживлення посівів.

***Примітка: $V_{тб}$ – вихід твердого біопалива, т/га; $E_{пр}$ – сукупна енергія, накопичена в біомасі, ГДж/га; E_c – сукупні витрати енергетичних ресурсів на 1 га посівів, ГДж/га; EM – енергомісткість технології виробництва, ГДж/т; $П_p$ – енергетичний прибуток вирощування біомаси, ГДж/га; $K_{еe}$ – коефіцієнт енергетичної ефективності.

Найбільшу сукупну енергію, накопичену в біомасі вдалося отримати при способі вирощування Sw+Ig – 263,2 ГДж/га з приростом на 15 грн/га, а найменшу сукупну енергію, накопичену в біомасі при способі вирощування Bb – 167 ГДж/га з приростом на 10,4 грн/га (рис. 6.8).

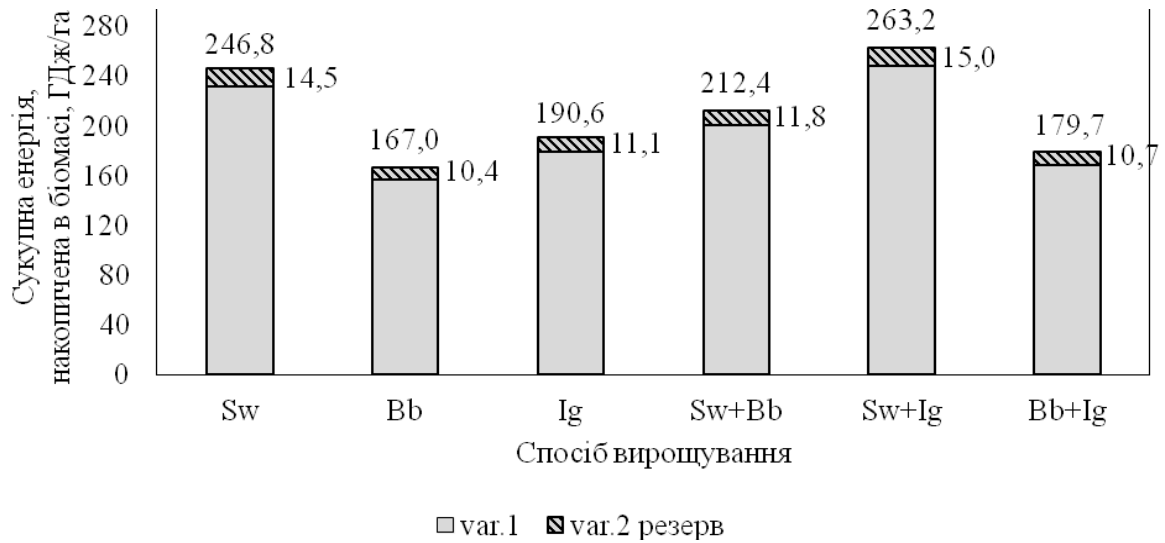


Рис. 6.8. Показники енергетичної ефективності (сукупна енергія, накопичена в біомасі) виробництва біомаси енергетичних культур залежно від підживлення посівів, 2023 р.

Найбільший коефіцієнт енергетичної ефективності вдалося отримати при способі вирощування Sw+Ig – 3,2 з приростом на 0,1, а найменший коефіцієнт енергетичної ефективності при способі вирощування Bb – 2,3 з приростом на 0,1 (рис. 6.9).

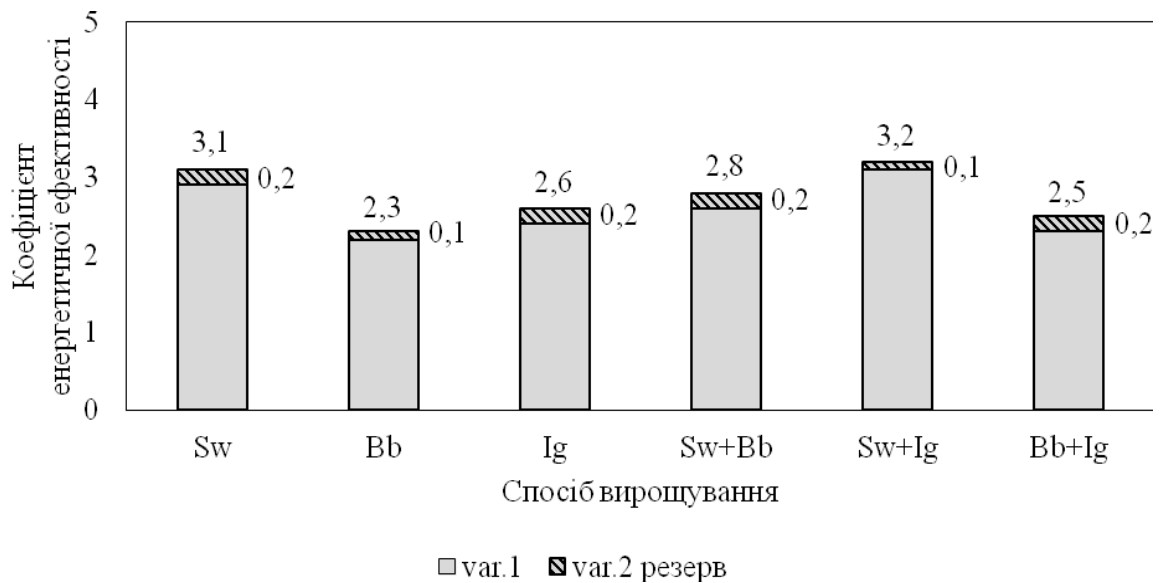


Рис. 6.9. Показники енергетичної ефективності (коефіцієнт енергетичної ефективності) виробництва біомаси енергетичних культур залежно від підживлення посівів, 2023 р.

Енергетична ефективність виробництва біомаси сорго багаторічного проводилась за тими ж показниками, що й для інших енергокультур. Врожайність біомаси даної культури суттєво різнилася залежно від досліджуваного сорту. В сорту Колумбо цей показник був в межах – від 12,5 до 13,3 т/га (в середньому за варіантами 11,7 т/га)., а у сорту Парана – від 9,6 до 10,5 (в середньому за варіантами 10,0 т/га). Найліпшим варіантом, на якому було зафіксовано збільшений рівень врожайності біомаси для обох сортів – це застосування препарату Агростимулін (для допосівної обробки насіння та внесення по вегетації рослин). Результати енергетичної ефективності виробництва біомаси сортів сорго багаторічного наведено (табл. 6.8, рис. 6.10).

Таблиця 6.8

Енергетична ефективність виробництва біомаси сорго багаторічного залежно сорту та підживлення посівів, середнє за 2019-2022 рр.

Сорт	Варіанти*	Урожай- ність, т/га	Показники енергетичної ефективності**					
			В _{тб}	Е _{пр}	Е _с	ЕМ	П _р	К _{еє}
Колумбо	var.1	11,4	12,5	200,6	72,5	5,8	128,1	2,8
	var.2	11,5	12,7	202,4	72,9	5,7	129,5	2,8
	var.3	11,9	13,1	213,4	73,5	5,6	139,9	2,9
	var.4	12,1	13,3	219,6	74,4	5,6	145,2	3,0
Середнє значення		11,7	12,9	209,0	73,3	5,7	135,7	2,8
Парана	var.1	9,6	10,6	169,0	69,2	6,5	99,8	2,4
	var.2	9,7	10,7	170,7	69,7	6,5	101,0	2,4
	var.3	10,2	11,2	182,9	70,8	6,3	112,1	2,6
	var.4	10,5	11,6	190,6	71,3	6,1	119,3	2,7
Середнє значення		10,0	11,0	178,3	70,3	6,4	108,1	2,5

*Примітка: var.1 – контроль, var.2 – допосівна обробка насіння препаратом Агростимулін, var.3 – позакоренева обробка посівів препаратом Агростимулін, var.4 – допосівна обробка насіння та посівів препаратом Агростимулін

**Примітка: В_{тб} – вихід твердого біопалива, т/га; Е_{пр} – сукупна енергія, накопичена в біомасі, ГДж/га; Е_с – сукупні витрати енергетичних ресурсів на 1 га посівів, ГДж/га; ЕМ – енергомiсткiсть технологiї виробництва, ГДж/т; П_р – енергетичний прибуток вирощування біомаси, ГДж/га; К_{еє} – коефіцієнт енергетичної ефективності.

Вирощування сорту Колумбо в середньому дозволяє досягти сукупну енергію, накопичену в біомасі 209 ГДж/га, що на 30,7 ГДж/га більше ніж при вирощуванні Парана. Ба більше, при вирощуванні Колумбо досягається коефіцієнт енергетичної ефективності – 2,8, що на 0,3 більше ніж при вирощуванні Парана (рис. 6.10).

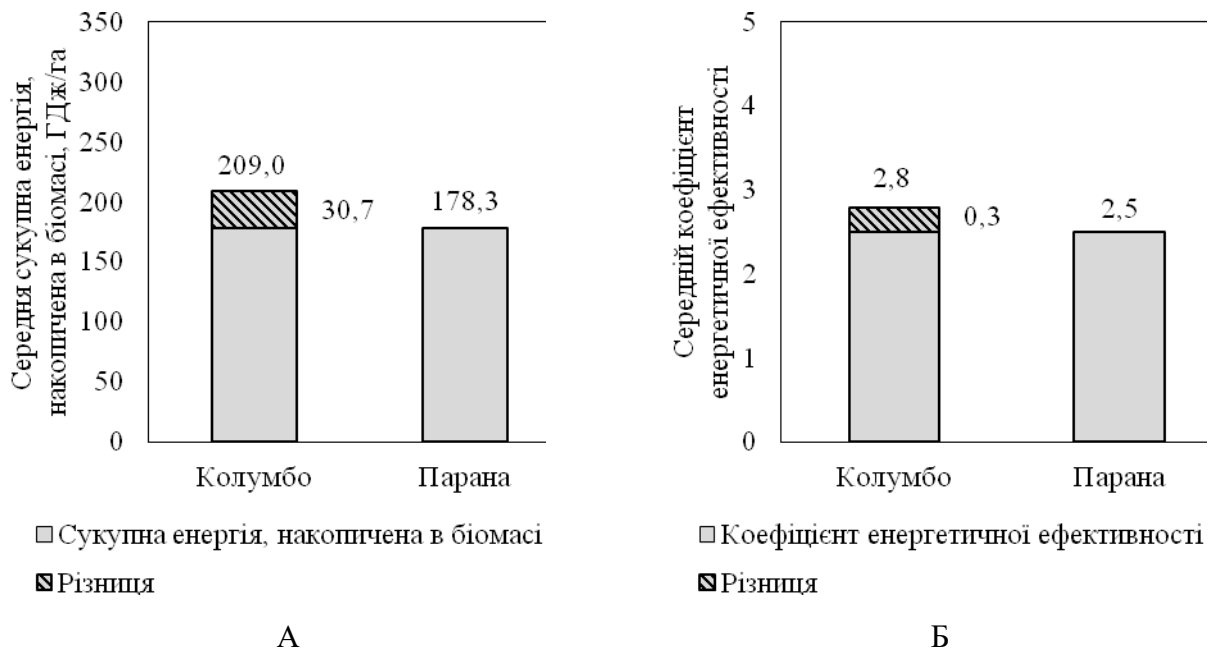


Рис. 6.10. Показники енергетичної ефективності (А – сукупна енергія, накопичена в біомасі, Б – коефіцієнт енергетичної ефективності) виробництва біомаси сорго багаторічного залежно від сорту та підживлення посівів, середнє за 2019-2021 рр.

Таким чином, визначено ефективні заходи та агроприйоми збільшення економічної та енергетичної ефективності виробництва біомаси енергетичних культур, що вивчалися у експериментальних дослідженнях.

Висновки до розділу:

1. З економічної точки зору найбільшу рентабельність виробництва біомаси за порівняно низької собівартості виробництва продукції забезпечують одновидові посіви різних енергокультур в ґрунтово-кліматичних зонах України. В умовах Степу, порівняно з Лісостепом отримали збільшену виручку від реалізації продукції на 2533,4 грн/га (до 12761,7 грн/га), та підвищений рівень рентабельності виробництва біомаси в середньому за три роки – до 73,5 %. У сімських посівах енергокультур виручка від реалізації біомаси в Степу порівняно з Лісостепом збільшена на 2565 грн/га (до 13680 грн/га), зріс й рівень рентабельності виробництва продукції в Степу порівняно з Лісостепом у середньому за три роки – до 85,2 %.

2. Вирощування сорго багаторічного сорту Колумбо на варіантах застосування препарату Агростимулін дозволяє досягти збільшити прибутку до 4239,5 грн/га, що на 1245,3 грн/га більше ніж при вирощуванні Парана. При вирощуванні сорту Колумбо досягається рівень рентабельності – 61,4 %, що на 15,4 % більше ніж при вирощуванні сорту Парана

3. Найбільшу енергетичну ефективність забезпечують посіви різні сумішок енергокультур. За вирощування їх у сумісних посівах в умовах Степу отримали найбільшу сукупну енергію, накопичену в біомасі посівів проса прутіподібного й біг-блуестему (275,9 ГДж/га), суттєво нижчими ці показники були у біг-блуестему й сорговника пониклого (220,4 ГДж/га) за середнього рівня енергетичної ефективності, відповідно $K_{ee} = 3,1$. Для умов Лісостепу більш енергоефективним буде вирощування проса прутіподібного й сорговника пониклого у сумісних посівах, при ньому отримали $K_{ee} 2,9$.

4. Вирощування сорго багаторічного сорту Колумбо при застосування препарату Агростимулін дозволяє досягти отримання сукупної енергії, що накопичена в біомасі до рівня 209 ГДж/га ($K_{ee} 2,8$), що на 30,7 ГДж/га більше ніж при вирощуванні сорту Парана ($K_{ee} 2,5$).

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі обґрунтовано теоретичні положення та розроблено науково-практичні основи формування врожайності біомаси енергетичних культур у двох ґрунтово-кліматичних умовах: Степу та Лісостепу України. Запропоновано практичні рекомендації щодо удосконалення агротехнології вирощування енергетичних культур задля отримання біосировини: рослинної біомаси для виготовлення біопалив та продуктів з доданої вартістю.

1. Встановлено, що ґрунтово-кліматичні умови вносять суттєвий вклад у формування біометричних показників енергетичних культур з родини тонконогові. Визначено, що всі рослини мають стабільну динаміку росту в перші два роки культивування, при цьому є чітка відмінність висоти рослин у різних кліматичних зонах. Так, в Степовій зоні відмічено зменшення висоту стеблостою енергокультур (середньому на 8-12%), ніж в зоні Лісостепу. На противагу цьому встановлена закономірність збільшення густоти стеблостою в умовах Лісостепу, порівняння з Степом.

2. Обґрунтовано, що в умовах Степу, порівняно із Лісостепом отримали доказову вищу врожайність біомаси енергетичних культур: проса прутоподібного, біг-блуестему та індіан-грасу. У середньому за роки дослідження врожайність біомаси енергокультур умовах Степу, порівняно із Лісостепом збільшується (у середньому за 4 роки): – від 7,8 до 11,2 т/га, а в умовах Лісостепу – вона була суттєво нижчою та варіювала у межах від 7,4 до 10,4 т/га.

3. Визначено, що найбільший обсяг біомаси за роки дослідження забезпечували: просо прутоподібне (для Степу цей показник становив 56,0 т/га та для Лісостепу 51,9 т/га) й сорго багаторічне (для Степу цей показник становив 53,6 т/га та для Лісостепу 51,7 т/га). Інші варіанти за обсягом біомаси мали суттєво менші значення: сорговник пониклий (для Степу цей показник

становив 46,1 т/га, для Лісостепу 39,9 т/га), найнижчим це показник був у біг-блуестему (для Степу цей показник становив 39,1 т/га, для Лісостепу 36,9 т/га).

4. Визначено, що умови вирощування не вносять суттєвих змін у якість біомаси енергокультур. Якість біомаси енергетичних культур має відмінні значення, що залежить в більшій мірі від морфології та анатомії рослин, аніж від умов вирощування енергорослин. Умов вирощування не вносять суттєвих змін у якість біомаси енергокультур: целюлозні складові, окрім лігніну – змінюють ся несуттєво. З-поміж енергокультур, найбільше вуглецю за порівняно низкого вмісту водню у біомасі накопичує біг-блуестем. Вміст золи за енергорослинами варіює від 4,2 до 5,2 %, з найменшим значенням за даним показником у соргоvníк апонікаючого.

5. Визначено, що сумісні посіви енергетичних культур залежно від свого компонентного складу змінюють структуру фітоценозу в умовах Степу на 44,3-55,7 %, в умовах Лісостепу – 44,0-56,0 %. Виявлена прямолінійна залежність між вмістом вологи у фітомасі та врожайністю сухої біомаси енергетичних культур в умовах Степу – прямолінійна ($R = 0,36 \dots 0,67$), а для Лісостепу – обернена ($R = -0,50 \dots 0,93$).

6. Обґрунтовано, що застосування щорічного весняного підживлення сумісних посівів енергетичних культур препаратом Кристалом в умовах Лісостепу суттєво збільшує врожайність їх біомаси: проса прутіоподібного й індіанграсу на варіантах підживлення посівів до 11,0 т/га (прибавка 0,3 т/га до контролю). Суттєво меншим цей показник був на варіантах сумісних посівів із підживленням: проса прутіоподібного із біг-блуестемом (9,2 т/га) та біг-блуестему із соргоvníком поніклім (7,5 т/га).

7. Визначено, що найбільший обсяг біомаси за чотири роки дослідження формують сумісні посіви проса прутіоподібного з соргоvníком поніклім (42,8 т/га – без підживлення та 44,1 т/га – з підживленням посівів), менше, але на високому рівні об'єм біомаси забезпечили одновидові посіви проса прутіоподібного.

8. Визначено, що за роки дослідження вегетаційний період для сорту сорго багаторічного Колумбо змінювався у межах – від 132–140,7 діб та 116,7–122,6 діб – тривав для сорту Парана на варіантах комплексного застосування препарату Агростимулін.

9. Встановлено, що застосування препарату Агростимулін для обробки насіння та за позакореневого весняного підживлення посівів у середньому за чотири роки має суттєвий вплив на висоту стеблостою (238,9 см) та кількість стебел (5,4 шт.), що формуються на рослинах сорту Колумбо. На цих же варіантах у сорту Парана, порівняно з контрольними варіантами (без обробки) отримали збільшення кількісних показників рослин: висота (202,3 см) та кількість стебел (5,1 шт.).

10. Обґрунтовано, що найбільшу врожайність насіння сорту сорго багаторічного Колумбо за три роки дослідження забезпечують варіанти комплексного використання Агростимуліну. Цей агрозахід суттєво впливає на збільшення врожайності насіння сорго багаторічного для сорту Колумбо (1,74 т/га), що істотно перевищувало контроль на 1,50 т/га та сорту Парана, відповідно 1,23 т/га (+0,09 т/га до контролю).

11. Встановлена залежність між насінневою врожайністю сорго багаторічного та біометричними показниками рослин. В більшій мірі на насіннєву продуктивність має середня довжина волоті ($R^2 = 0,78$) та кількість продуктивних стебел на рослині ($R^2 = 0,62$), аніж висота стеблостою ($R^2 = 0,29$). Врожайність біомаси сорго багаторічного істотно залежить від кількості продуктивних стебел на рослині ($R^2 = 0,52$) та середньої висоти рослин ($R^2 = 0,54$).

12. Обґрунтовано, що найбільш істотний вплив на врожайність зеленої маси та сухої біомаси сорго багаторічного має допосівна обробка насіння та позакореневе підживлення посівів препаратом Агростимулін. Для сорту Колумбо в середньому за роки дослідження отримали врожай зеленої маси на рівні 45,2 т/га і 12,1 т/га сухої біомаси (в загальному за роки 48,4 т/га), а сорт

Парана формував на цих варіантах 38,1 т/га зеленої маси і 10,7 т/га біомаси за сухою речовиною (в загальному за роки 42,8 т/га).

13. З економічної точки зору найбільшу рентабельність виробництва біомаси за порівняно низької собівартості виробництва продукції забезпечують одновидові посіви різних ґрунтово-кліматичних зон України. В умовах Степу, порівняно з Лісостепом отримали збільшену виручку від реалізації продукції на 2533,4 грн/га (до 12761,7 грн/га), та підвищений рівень рентабельності виробництва біомаси середньому за три роки – до 73,5 %. У сумісних посівах енергокультур виручка від реалізації біомаси в Степу порівняно з Лісостепом збільшена на 2565 грн/га (до 13680 грн/га), зріс й рівень рентабельності виробництва продукції – до 85,2 %.

13. Вирощування сорго багаторічного сорту Колумбо на варіантах застосування препарату Агростимулін дозволяє досягти збільшення прибутку до 4239,5 грн/га, що на 1245,3 грн/га більше ніж при вирощуванні Парана. При вирощуванні Колумбо досягається рівень рентабельності – 61,4 %, що на 15,4 % більше ніж при вирощуванні Парана

14. За вирощування енергокультур у сумісних посівах в умовах Степу отримали найбільшу сукупну енергію, накопичену в біомасі посівів проса прутопідібного й біг-блуестему (275,9 ГДж/га), суттєво нижчими ці показники були у біг-блуесемі й сорговника пониклого (220,4 ГДж/га) за середнього рівня енергетичної ефективності $K_{ee} = 3,1$. Для умов Лісостепу більш енергоефективним буде вирощування проса прутопідібного й сорговника пониклого у сумісних посівах, при цьому отримали K_{ee} на рівні 2,9.

15. Вирощування сорго багаторічного сорту Колумбо дозволяє досягти отримання сукупної енергії, що накопичена в біомасі до рівня 209 ГДж/га ($K_{ee} 2,8$), що на 30,7 ГДж/га більше ніж при вирощуванні сорту Парана ($K_{ee} 2,5$).

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Узагальнюючи результати проведених досліджень визначено ефективні способи вирощування енергетичних культур для отримання стабільно високого врожаю енергоємної біомаси, твердого біопалива й продуктів з доданою вартістю в умовах України:

- розміщувати на одній площі в сумісних посівах просо прутоподібне й Біг-блуестем, просо прутоподібне й соргоvníк пониклий та сорго багаторічне й соргоvníк пониклий, що дозволить отримувати збільшену врожайність за сухою біомасою, відповідно до 12,8, 13,1 та 12,3 т/га;

- для отримання високоякісної сировини для виробництва продуктів із доданою вартістю – застосовувати вирощування соргоvníка поникаючого та біг-блюесему;

- за вирощування сорго багаторічного, з метою отримання насіння та збільшеного виходу біомаси застосовувати допосівну обробку насіння й позакореневе підживлення посівів препаратом Агростимулін. Збільшення врожайності для сорту Коломбо становитиме 45,2 т/га зеленої маси і 12,1 т/га сухої речовини, для сорту Парана (38,1 т/га зеленої маси і 10,7 т/га сухої речовини).

- для отримання найбільшої кількості енергії з одиниці площі на маргінальних землях проводити сумісне вирощування проса прутоподібного й соргоvníка пониклого (275,9 ГДж/га) та проса прутоподібного й й Біг-блюестему (202,4 ГДж/га).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Калетнік Г. М. Розвиток ринку біопалив в Україні : *моногр.* ; рец. М. Й. Малік. К.: Аграрна наука, 2008. 464 с.
2. Роїк М. В., Курило В. Л., Гументик М. Я. та ін. Ефективність вирощування високопродуктивних енергетичних культур. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. 2011. №15 (2). С. 85–90.
3. Курило В. Л., Роїк М. В., Ганженко О. М. Біоенергетика в Україні: стан та перспективи розвитку. *Біоенергетика*. 2013. Вип. № 1. С. 5–10.
4. Рахметов Д. Б., Вергун О. М., Рахметова С. О. *Panicum virgatum* L. – перспективний інтродуцент у Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка НААН України. *Інтродукція рослин*. Вип. 3(63), 2014. С. 4–12.
5. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Трибой О. В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Київ, 2014. 33 с.
6. Роїк Н. В., Гончарук Г. С., Мандровська С. М. Результати інтродукції просу прутоподібного в рослинництво України. *Цукровий буряк*. Вип. № 7, 2016. С. 42–45.
7. Енергетична верба: технологія вирощування та використання: *монографія*. Під заг. ред. В. М. Сінченка. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД». 2015. 340 с.
8. Roik, M. V., & Hanzhenko, O. M. (2021). Agricultural and environmental aspects of sustainable bioenergy development. *Bioenergy*, 1, 4–7. doi: 10.47414/be.1.2020.224906
9. Roik, M. V., Hanzhenko, O. M., & Honcharuk, H. S. (2021). The influence of perennial bioenergy crops on the soil fertility restoration. *Bioenergy*, (2). doi:10.47414/be.2.2020.224980
10. Енергетичні культури : сортимент, біологія, екологія, агротехнологія: колективна *монографія* / за ред. док. с.-г. наук., проф. М. І. Кулика. Полтава: “Астроя”, 2023. 220 с.

11. 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 (88). С. 11–17. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.01.01>
12. Калініченко О. В., Плотник О. Д. Економічна ефективність виробництва культури світчграсу в Україні. *Наукові праці Полтавської державної аграрної академії*. Вип. 2. Т. 1. Економічні науки. Полтава : ПДАА, 2011. С. 136–141.
13. Kulyk Maksym, Kalinichenko Oleksandr, Dekovetz Vitalii. Efficiency of energy crops cultivation for business development in Ukraine. Organization and management in the services' sphere on selected examples / Editors: Tetyana Nestorenko, Tadeusz Pokusa. *Monograph*. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2020: 36–45. ISBN 978-83-66567-02-3. http://pedagogika.wszia.opole.pl/ebook/3_2020.pdf
14. Switchgrass Ukraine: overview of switchgrass research and guidelines / Elbersen, H.W.; Kulyk, M.; Poppens, at all. Wageningen: Wageningen UR – Food & Biobased Research. 2016.
15. Kulyk M. I., Kurylo V. L., Kalinichenko O. V., Galytska. M. A. Plant energy resources: agroecological, economic and energy aspects. *Monograf*. 2019. 119 p.
16. Дьомін Д., Зудиков А., Кулик М. У пошуках енергії. Нова технологія вирощування міскантусу. *Зерно: Всеукраїнський журнал сучасного агропромисловця*. 2017. № 2. С. 96–99.
17. Курило В. Л., Кулик М. І. Енергетичні культури для виробництва біопалива: *довідник*. Полтава, 2017. 74 с.
18. Курило В. Л., Гументик М. Я., Квак В. М. Міскантус – перспективна енергетична культура для виробництва біопалива. *Агробіологія: зб. наук. праць Білоцерківського НАУ*, 2010. № 4 (80). С. 62–66.
19. Мороз О. В., Смірних В. М., Курило В. Л. , Кулик М. І. Світчграс як нова фітоенергетична культура. *Цукрові буряки*. 2011. №3. С.12–14.

20. Spencer, D. F., Ksander, G. G. (2006). Estimate *Arundo donax* ramet recruitment using degree-day based equation. *Aquat. Bot.* 85, 282–288.
21. Rossa B, TuAers AV, Naidoo G, von Willert DJ. (1998). *Arundo donax* L. (Poaceae) – a C₃ species with unusually high photosynthetic capacity. *Botanica Acta.* 111:216–221.
22. Saltonstall, K., Lambert, A., Meyerson, L. A. (2010). Genetics and reproduction of common (*Phragmites australis*) and giant reed (*Arundo donax*). *Invasive Plant Sci. Manag.* 3, 495– 505.
23. Кулик М. І. Енергетичні культури: навчальний посібник. Полтава: Аструя, 2016. 154 с.
24. Рахметов Д. Б., Щербакова Т. О., Рахметов С. Д. Міскантус в Україні: інтродукція, біологія, біоенергетика. Київ : Фітосоціоцентр, 2015. 158 с.
25. Рожко І. І., Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Вплив біометричних показників рослин на врожайність біомаси інтродукованих малопоширених енергетичних культур. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2021. Вип. (2), С. 114–123. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.14>
26. Курило В. Л., Кулик М. І., Калініченко О. В. Енергетичні культури: підручник. Полтава, 2019, 320 с.
27. Sanderson, M. A., Reed, R. L., McLaughlin, S. B., Wulschleger, S. D., Conger, B. V., Parrish, D. J., et al. (1996). Switchgrass as a sustainable bioenergy crop. *Bioresour. Technol.* 56, 83–93. doi: 10.1016/0960-8524(95)00176-X
28. Nelson, R. S., Stewart, C. N., Gou, J., Holladay, S., Gallego-Giraldo, L., Flanagan, A., et al. (2017). Development and use of a switchgrass (*Panicum virgatum* L.) transformation pipeline by the BioEnergy science center to evaluate plants for reduced cell wall recalcitrance. *Biotechnol. Biofuels.* 10, 309. doi: 10.1186/s13068-017-0991-x2
29. Yan, J., Aznar, A., Chalvin, C., Birdseye, D. S., Baidoo, E. E. K., Eudes, A., et al. (2018). Increased drought tolerance in plants engineered for low lignin and low xylan content. *Biotechnol. Biofuels.* 11, 195. doi: 10.1186/s13068-018-1196-7

30. Kulyk M., Kalynychenko O., Pryshliak N., Pryshliak V. (2020). Efficiency of using biomass from energy crops for sustainable bioenergy development. *Journal of Environmental Management and Tourism*, [S.l.], v. 11, n. 5, p. 1040–1053. doi: [https://doi.org/10.14505/jemt.v11.5\(45\).02](https://doi.org/10.14505/jemt.v11.5(45).02).
31. Кулик М. І., Сиплива Н. О. Рівень врожайності проса прутоподібного залежно від сорту та строку збирання. *Таврійський науковий вісник*. Вип. 107. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2019. С. 93–100.
32. Недільська У. І. Ріст, розвиток та урожайність проса прутоподібного (Світчґрасу). *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 118. С. 133–137. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.118.16>
33. Вольвач О. В., Жигайло О. Л., Колосовська В. В., Ярмолінський О. Ю. Агрокліматична оцінка перспектив вирощування світчґрасу (*Panicum Virgatum*) в лісостепових областях за умов зміни клімату. Науково-практичний журнал: *Екологічні науки*. 2022. Вип. № 3 (42). С. 123–130. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.20>
34. Калініченко О. В., Кулик М. І. Економічна ефективність вирощування проса прутоподібного (світчґрасу) в умовах Лісостепу України. *Економіка АПК*. 2018. Вип. № 11 С.19–28. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201811019>
35. Mitchell, R., Vogel, K. (2004). Indiangrass. Warm season (C₄) Grasses. American Society of Agronomy. *Agronomy Monograph*. Chapter 28. No 45: 937–983. Internet source URL: https://www.researchgate.net/publication/327815722_indiangrass
36. Moser, L. E., Vogel, K. P. (1995). Switchgrass, big bluestem, and indiangrass. Iowa State University. In R.F Barnes et al. (ed.) *Forages: An introduction to grassland agriculture*. 5th edition: 409–420. Internet source. URL: https://www.researchgate.net/publication/327815598_Switchgrass_Big_Blues
37. Мартинова Н. В., Лихолат Ю. В., Кабар А. М., Рула І. В., Григорюк І.П. Адаптивний потенціал злакових видів *sorghastrum nutans*, *pennisetum setaceum* та *spodiopogon sibiricus* в умовах інтродукції Степу України.

Вісник Уманського національного університету садівництва: Науково-виробничий журнал. 2020. Вип. №1, С. 37–42.

38. Watkinson, J., Pill, W. (1998). Gibberellic Acid and Presowing Chilling Increase Seed Germination of Indiangrass (*Sorghastrum nutans* (L.) Nash.). *American Society for Horticultural Science*. No 33 (5): 849–851. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.33.5.849>
39. Fulbright, T. (1998). Effects of Temperature, Water Potential, and Sodium Chloride on Indiangrass Germination. *Journal of range management*. 41(3): 207–210. DOI: <https://doi.org/10.2307/3899168>
40. Knapp, A. K., Briggs, J. M., Harnett, D. C., Collins, S. L. (1998). Grassland dynamics: long-term ecological research in tallgrass prairie. *Oxford University press*. NY: 364 pp. (ISBN 0-19-511486-8).
41. Elsenbroek, K. F., Bach, E. M., Baer, S. G. (2010) Ecotypic Responses of Indiangrass (*Sorghastrum nutans*) to Varying Water Regimes. Internet source. URL: https://www.researchgate.net/publication/267262509_Ecotypic_Responses_of_Indiangrass_Sorghastrum_nutans_to_Varying_Wate
42. Springer, T., Moffet, C. (2008). Germination and field establishment of Indiangrass populations selected for greater laboratory seed germination in a simulated dry condition. *Crop Science*. Vol. 62 (6): 2039–2569. DOI: <https://doi.org/10.1002/csc2.20822>
43. Vogel, K., Johnson, K., Carlson, I., Schmer, M. (2018). Big Bluestem and Indiangrass from Remnant Prairies: Plant Biomass and Adaptation. *Crop Science*. Vol. 58 (2): 728–738.
44. Casler, M. D.; Vogel, K. P.; Lee, D. K.; Mitchell, R. B.; Adler, P. R.; Sulc, R. M.; Johnson, K. D.; Kallenbach, R. L.; Boe, A. R.; Mathison, R. D.; Cassida, K. A.; Min, D. H.; Crawford, J.; and Moore, K. J. (2018). 30 Years of Progress toward Increased Biomass Yield of Switchgrass and Big Bluestem. *Crop Science*. Vol. 58 (3): 1242–1254. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.12.0729>

45. McKendrick, J. D., Owensby, C. E., Hyde, R. M. (1975). Big Bluestem and indiangrass vegetative reproduction and annual reserve carbohydrate and nitrogen cycles. *Agro-Ecosystems*. 2 (1): 75–93. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3746\(75\)90007-4](https://doi.org/10.1016/0304-3746(75)90007-4)
46. Varvel N. A., Hilt, C. J., Johnson L. C., Galliard M., Baer S. G., Maricle B. J. (2018). Genetic and environmental influences on stomates of big bluestem (*Andropogon gerardii*). *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 155: 477–487. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.07.018>
47. Masters, R. A. (1995). Establishment of Big Bluestem and Sand Bluestem Cultivars with Metolachlor and Atrazine. *Agronomy Journal*, Vol. 3 (87): 592–596. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1995.0002196008700030033x>
48. Masters, R. A. (1997). Influence of Seeding Rate on Big Bluestem Establishment with Herbicides. *Agronomy Journal*, Vol. 89 (6): 947–951. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1997.0002196008900060016x>
49. Golovin V. P., Tkachenko I. K. Study of the collection of rare crops at the Belgorod stronghold. *Materials of the III International Scientific and Practical Conference: Selection, technology of cultivation and processing of non-traditional plants*. Republic of Crimea, Simferopol, 1994. pp. 27–28.
50. El Bassam N. Handbook of bioenergy crops: a complete reference to species, development and applications. Earthscan, London Washington. 2020. 544 p.
51. Мельников М. М. Агробіологічна оцінка трави Колумба у зв'язку з інтродукцією її у Крим. *Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук*. КДАУ. Сімферополь, 1999. 145 с.
52. Рахметов Д. Б., Козлик С. М. Вплив строків сівби на ріст й розвиток рослин сорго багаторічного. *Наукові доповіді НУБіП*. 2011. 4 (26), Internet source: URL http://www/nbuv.gov.ua/e-journals/Nd/2011_4/11rbf.pdf
53. Țiței V., Muntean A., Coșman V. (2015). Introduction and ago and economical value of *Sorghum Almun* in the Republic of Moldova. *Research Journal of Agricultural Science*, 47 (2), 232–237.

54. Avutkhonov B.S., Jurayeva Z.J. (2020)/ Photosynthetic activity and yield of green biomass of a Columbus grass (*Sorghum almum* Parodi) in the conditions of Uzbekistan area. *Journal of Critical Reviews*. 7 (16) : 3897–3902.
55. Melnikov M. M. Some biological features of Columbus grass in connection with its introduction into the feed production of Crimea. Issues of stabilization and increasing the efficiency of the Crimean agro-industrial complex in the research of young scientists. *Collection of scientific papers. Simferopol*. 1997. pp. 6–9.
56. Biliavskiy Yu. V., Biliavska L. H. (2019). Analiz ahro-klimatychnykh ta hruntovykh umov Lisostepu Ukrainy dlia vyroshchuvannia silskohospodarskykh ta enerhetychnykh kultur [Analysis of agro-climatic and soil conditions of the Forest-Steppe of Ukraine for growing agricultural and energy crops]. Optymalni enerhe-tychni systemy z urakhuvanniam naiavnoho potentsialu vidnovliuvanykh dzherel enerhii u Lisostepu Ukrainy: *kolektyvna monohrafiia* / Za zah. red. M. I. Kulyka, O. V. Kalinichenka. Poltava: PP “Astraiia”, pp. 7–17. (in Ukrainian)
57. Polovyi A. M., Bozhko L. Yu. (2015). Vplyv klimatychnykh zmin na rezhym zvolozhennia vehetatsiinoho periodu v Ukraini [The impact of climate change on the humidification regime of the growing season in Ukraine]. *Ukrainskyi hidrome-teorolohichnyi zhurnal*, no. 16, pp. 128–139.
58. Kulyk M., Shokalo N., Dinets O. (2019) Morphometric indices of plants, biological peculiarities and productivity of industrial energy crops. Development of modern science: the experience of European countries and prospects for Ukraine: *monograph* / edited by authors. 3rd ed. Riga, Latvia: «Baltija Publishing», pp. 411–431.
59. Kulyk M. I., Padalka V. V. (2020) Rozvytok bioenerhetyky na osnovi roslynnoho enerhetychnoho resursu (na prykladi Poltavskoi oblasti) [Development of bioenergy based on plant energy resources (on the example of Poltava region)]. Upravlinnia stratehiimy vyperedzhaiuchoho

- innovatsiinoho rozvytku: *monohrafiia* / za red. k.e.n., dotsenta N. S. Illiashenko. Sumy: Trytoriia , pp. 109–118.
60. Nataliia Kutsokon, Lidiya Khudolieieva, Svitlana Los, Liliia Torosova, Natalia Vysotska (2020) Evaluation of poplar and willow clones on the experimental short rotation plantation in Kharkiv region: results of the second cultivation year. *Plant Varieties Studying and Protection*, 16(2): 182–190. DOI: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.2.2020.209238>
 61. Міністерство енергетики та захисту довкілля України (2017) Економічний паспорт Полтавської області. Інтернет ресурс. Retrieved from: https://menr.gov.ua/files/docs/eco_passport/2017/%D0%9F%D0%BE%D0%ВПолтавська_ЕкоПаспорт(accessed 5 April 2022)
 62. Міністерство енергетики та захисту довкілля України (2019) Економічний паспорт Дніпропетровської області. Інтернет ресурс. Retrieved from: https://menr.gov.ua/files/docs/eco_passport/2017/%D0%9F%D0%BE%D0%ВДніпропетровська_ЕкоПаспорт(accessed 5 April 2022)
 63. Kulyk M. I., Kurylo V. L., Kalinichenko O. V., Galytska M. A. (2019). Plant energy resources: agroecological, economic and energy aspects. *Monograf.* 160 p.
 64. D'omin Dmytro, Kulyk Maksym, Rozhko Ilona (2021). Agroecological fundamentals of creation of artificial phytocenoses of energy crops for recultivation. Innovative Approaches to Ensuring the Quality of Education, Scientific Research and Technological Processes: *Series of monographs*. 43 Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied Arts Katowice School of Technology /Edited by Magdalena Gawron-Łapuszek Yana Suchukova. Publishing House of University of Technology, Katowice, pp. 1035–1041.
 65. Gumentyk M., Kharytonov M. (2018). Development and assessment of technologies of miscanthus and switchgrass growing in Forest-Steppe zone of Ukraine. *Agriculture and Forestry*, vol. 64, iss. 2, pp. 137–146. DOI: <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.64.2.10>

66. Maroš Korenko, Volodymyr Bulgakov, Vasyl Kurylo, Maksym Kulyk, Alexander Kalinichanko, Yevhen Ihnatiev, Eva Matušeková (2021). Formation of Crop Yields of Energy Crops Depending on the Soil and Weather Conditions. *Acta Technologica Agriculturae*, vol. 24(1), pp. 41–47. DOI: <https://doi.org/10.2478/ata-2021-0007>
67. Kalinichenko A., Kalinichenko O., Kulyk M. Assessment of available potential of agro-biomass and energy crops phytomass for biofuel production in Ukraine : Odnawialne źródła energii: teoria i praktyka. *Monograph / pod red. I. Pietkun-Greber, P. Ratusznego, Uniwersytet Opolski : Opole, Kijów, 2017. (tom II): 163–179.* URL: [//dspace.pdaa.edu.ua:8080/handle/123456789/343](http://dspace.pdaa.edu.ua:8080/handle/123456789/343)
68. Geletukha G. G., Zheliezna T. A. State of the art and prospects for bioenergy development in Ukraine. *Industrial heat engineering*. 2017. T. 39, № 2. C. 60–64. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/142351>
69. Geletukha, G., Zheliezna, T., & Tryboi, O. (2017). Prospects For Growing And Use Of Energy Crops In Ukraine. Part 2. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 37 (5), 58–67. URL: <https://doi.org/https://doi.org/10.31472/ihe.5.2015.07>
70. Kuptsov N. S., Popov E. G. Energy plantations: a reference guide on the use of energy plants. Minsk: “Confido”. 2015. pp. 95–100.
71. Jobbágy, E. G., & Jackson, R. B. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*. Internet source: URL: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0423:TVDOSO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0423:TVDOSO]2.0.CO;2)
72. Albaladejo, J., Ortiz, R., Garcia-Franco, N., Navarro, A. R., Almagro, M., Pintado, J. G., & Martínez-Mena, M. (2013). Land use and climate change impacts on soil organic carbon stocks in semi-arid Spain. *Journal of Soils and Sediments*, 13(2), 265–277. URL: <https://doi.org/10.1007/s11368-012-0617-7>
73. Aguilera, E., Guzmán, G. I., Álvaro-Fuentes, J., Infante-Amate, J., García-Ruiz, R., Carranza-Gallego, G., ... González de Molina, M. (2018). A historical perspective on soil organic carbon in Mediterranean cropland (Spain, 1900–

- 2008). *Science of The Total Environment*, 621, 634–648. URL: <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.11.243>
74. Hoyle, F. C., D'Antuono, M., Overheu, T., & Murphy, D. V. (2013). Capacity for increasing soil organic carbon stocks in dryland agricultural systems. *Soil Research*. Internet resource. URL: <https://doi.org/10.1071/SR12373>
75. Mykhaylo Gumentyk, Mykola Kharytonov. (2018). Development and assessment of technologies of Miscanthus and switchgrass growing in forest-steppe zone of Ukraine. *Poljoprivreda i Sumarstvo*. Vol. 64 (2): 137–146. DOI: 10.17707/AgricultForest.64.2.10
76. Maryna Galytska, Maksym Kulyk, Dzhamal Rakhmetov, Vasyl Kurylo, Ilona Rozhko (2021). Effect of cultivation method of Panicum virgatum L. and soil organic matter content on the biomass yield. *Zemdirbyste-Agriculture*. Vol. 108 (3): 247–254. DOI 10.13080/z-a.2021.108.032
77. Franzluebbers A. J., Stuedemann J. A., Schomberg H. H., Wilkinson S. R. (2000). Soil organic C and N pools under long-term pasture management in the Southern Piedmont, USA. *Soil Biology and Biochemistry*. 32: 469–478. URL: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00176-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00176-5)
78. Voigt, T. B. (2012). Perennial herbaceous crops with potential for biofuel production in the temperate regions of the USA. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 7 (15). Internet resource. doi: 10.1079/pavsnr20127015
79. Michael D. Casler, Kenneth P. Vogel, D. K. Lee, R. B. Mitchell, P. R. Adler, R. M. Sulc, K. D. Johnson, R. L. Kallenbach, A. R. Boe, R. D. Mathison, K. A. Cassida, D. H. Min, J. Crawford, and K. J. Moore. (2018). 30 Years of Progress toward Increased Biomass Yield of Switchgrass and Big Bluestem. *Crop Science*, 58,. PP.1242–1254 DOI: 10.2135/cropsci2017.12.0729
80. Bonin, C.L., and B.F. Tracy (2012). Diversity influences forage yield and stability in perennial prairie plant mixtures. *Agricultural Ecosystems Environment*. 1621–1627. doi:10.1016/j.agee.2012.08.005

81. Boe, A.R., K.H. Keeler, G.A. Normann, and L. Hatch. The indigenous bluestems of the western hemisphere and gambagrass. In: L.E. Moser, et al., editors, Warm-season (C4) grasses. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. 2004. PP. 873–908. doi:10.2134/agronmonogr45.c26
82. Berdahl, J.D., A.B. Frank, J.M. Krupinsky, P.M. Carr, J.D. Hanson, and H.A. Johnson (2005). Biomass yield, phenology, and survival of diverse switchgrass cultivars and experimental strains in western North Dakota. *Agronomy*. PP. 549–555. doi:10.2134/agronj2005.0549
83. Tubeileh A., Rennie T. J., Kerr A., Saita A. A., and C. Patané (2014). Biomass Production by Warm-Season Grasses as Affected by Nitrogen Application in Ontario. *Agronomy Journal*, 106, Issue 2. PP. 416–422. doi:10.2134/agronj2013.0379
84. Оптимальні енергетичні системи з урахуванням наявного потенціалу відновлюваних джерел енергії у Лісостепу України : *колективна монографія* / За заг. ред. М. І. Кулика, О. В. Калініченка. Полтава: ПП “Аструя”, 2019. 128 с.
85. McLaughlin S.B., Samson R., Bransby D., Wiselogel A. Evaluation physical, chemical and energetic properties of perennial grasses as biofuels. *Materials of the Bioenergy'96 – The Seventh National Bioenergy Conference*. 15-20.09.1996. Internet Source URL: www.researchgate.net/publication/285712826_evaluation_physical_chemical_and_energetic_properties_of_perennial_grasses_as_biofuels
86. Min D., Guragain Y., Vara Prasad P. V, Vadlani P. V. (2017). Effects of Different Genotypes of Switchgrass as a Bioenergy Crop on Yield Components and Bioconversion Potential. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 07 (01), P.27–35 DOI:10.4236/jsbs.2017.71003
87. Stefanoni W., Latterini F., Pari L. (2005). Perennial Grass Species for Bioenergy Production: The State of the Art in Mechanical Harvesting. *Energies*, 16 (5). P. 2303 DOI:10.3390/en16052303

88. Ogden C., Ileleji K. E, Johnson K.D. (2019). Fuel property changes of switchgrass during one-year of outdoor storage. *Biomass and Bioenergy*, 120 (4) : 359–366. DOI:10.1016/j.biombioe.2018.11.030
89. Мельник Н. В. Сертифікація біоенергетичних видів палива у світі та в Україні. *Наукові горизонти*. 11 (72). 2018. С.87–96.
90. Directive (EU) 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/28/oj>
91. Directive (EU) 2015/1513 of the European Parliament and of the Council of 9 September 2015 amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources. Retrieved from: <https://eurlex.europa.eu/eli/dir/2015/1513/oj>
92. Directive (EU) 2009/30/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 98/70/EC as regards the specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce green house gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification of fuel used by inland water way vessels and repealing Directive 93/12/EEC. Retrieved from: <https://eurlex.europa.eu/eli/dir/2009/30/oj>
93. Holub, H. A. & S. M. Kukharets (2015). Osoblyvosti vyrobnytstva biopalyva ta otrymannia enerhii v umovakh ahropromysloвого vyrobnytstva [Features of biofuel production and energy production in agro-industrial production]. *Tekhnika i tekhnolohii APK*, 2 (65), 31–34.
94. Голуб Н. Б., Боровик О.Я. Переробка біомаси. Київ: Комп'ютерпрес, 2014. С. 169.
95. Біопалива (технології, машини і обладнання) / В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло, О. Шептицький, А. Рожковський, З. Пасторек, А. Гжибек, П. Євич, Т. Амон, В.В. Криворучко К.: ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. 256 с.

96. Колосов, О. Є., Рябцев Г. Л., Сівецький В. І., Сідоров Д. Е., Пристайлов С. О. Високоєфективні засоби приготування біопалива. К.: Січкара, 2010. 152 с.
97. Holden N. M., Wolfe M. L., Ogejo J. A., Cummins E. J. Introduction to Biosystems Engineering. Virginia Tech Libraries' Open Education Initiative. Internet Source: URL: [http://eng.libretexts.org/bookshelves/Biological_Engineering/Introduction_to_Biosystems_Engineering_\(Holden_et_al\)](http://eng.libretexts.org/bookshelves/Biological_Engineering/Introduction_to_Biosystems_Engineering_(Holden_et_al)).
98. Альтернативна енергетика в Україні: монографія / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець; Дніпропетровськ: Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2013. 109 с.
99. Железна Т., Баштовий А., Гелетуха Г. Аналіз можливості отримання деревного палива з додаткових джерел в Україні. Промислова теплотехніка. Вип. 4. 2016. С.75.
100. Гелетуха Г., Железна Т., Баштовий А. Енергетичний та екологічний аналіз технологій виробництва електроенергії з твердої біомаси. Частина I. *Промислова теплотехніка*. Т.39, № 1. 2017. С.58–64.
101. Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи. за ред. Г. Гелетухи. Київ, Академперіодика, 2022. 373 с.
102. Ганженко О. М., Гументик М. Я. Теплотворні властивості твердого біопалива. *Біоенергетика*. 2016. №1. С. 14–16.
103. Кургак В. Г., Єфремова Г. В., Лещенко Ю. В., Ткаченко А. М.. Енергетична цінність багаторічних трав'яних фітоценозів. *Збірник наукових праць ННЦ "Інститут землеробства НААН"*. 2015. Вип. 2. С. 164–173.
104. Бунецький В. А., Ганженко О. М., Роїк М. В. Біочар – висококалорійне паливо та запорука великої врожайності! *Біоенергетика/Bioenergy*. 2018. №2 (12). С. 8-12.
105. Synthetic natural gas from coal, dry biomass, and power-to-gas applications. Edited by Tilman J. Schildhauer, Serge M.A. Biollaz. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, 2016. 244 p.

106. Poluzzi, G. Guandalini, S. Guffanti & others. (2021). Flexible Power and Biomass-To-Methanol Plants With Different Gasification Technologies. *Bioenergy and Biofuels*. Vol. 9. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.795673>
107. Methanol from Biomass. The National Renewable Energy Laboratory of U.S. Department of Energy. Інтернет джерело. URL: <http://www.nrel.gov/docs/legosti/old/5570r2.pdf>
108. Andi A., Rao L. (2022). Methanol production from Biomass: Analysis and optimization. *Materialstoday: Proceedings*. Vol. 57, part 4. P. 1770–1775 <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.450>
109. Ringphell M., Sander H.-J., Gerhardt M., Wolf M. (2008). Methanol from Biomass. *Bioenergy*. Edited by Judy D. Wall & others. ASM Press. <https://doi.org/10.1128/9781555815547>
110. Zabed H., Sahu J. N., Boyce A. N., Faruq G. (2016). Fuel ethanol production from lignocellulosic biomass: An overview on feedstocks and technological approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 66. P. 751–774 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.038>
111. Williams R. H., Larson E. D., Katofsky R. E., Chen J. & others (1995). Methanol and hydrogen from biomass for transportation. *Energy for Sustainable Development*. Vol. 1, issue 5. P. 18–34
112. Balat H., Kirtay E. (2010). Hydrogen from biomass – Present scenario and future prospects. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 35, issue 14. P. 7416–7426.
113. Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Переваги використання біомаси малопоширених енергетичних культур. *Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку: збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції*. (Полтава, 27 травня 2022). Полтава: ПДАУ, 2022. С. 54–56.
114. Дьомін Д. Г., Дековець В. О., Кулик М. І. Енергетичні культури: перспективні напрями використання біомаси. *Лікарське рослинництво:*

- від досвіду минулого до новітніх технологій: матеріали X міжнародної науково-практичної конференції.* (Полтава, 21–22 листопада 2022 р.). Полтава: Полтавський державний аграрний університет, 2022. С. 63–64.
115. Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Екологічні чинники та потенціал біомаси за вирощування малопоширених енергетичних культур. *Хімія, Біотехнологія, Екологія та Освіта: Збірник матеріалів VII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції* (м. Полтава, 17-18 травня 2023 року). Полтава, 2023. С. 313–314.
116. Kulyk Maksym, Dekovets Vitaly, Rozhko Iлона, Demin Dmitry, Onoprienko Alexander. The role of innovations in the development and management during the optimization of cultivation technologies of industrial crops in the post-coronavirus world. The role of information and technology in the construction of the post-coronavirus world : *Monograph* / Edited by Magdalena Gawron-Łapuszek, Andrii Karpenko. Katowicach (Polska): Publishing House of Katowice School of Technology, 2020: 173–185. ISBN 978-83-957298-5-0
117. D'omin Dmytro, Kulyk Maksym, Rozhko Iлона. Agroecological fundamentals of creation of artificial phytocenoses of energy crops for recultivation. *Innovative Approaches to Ensuring the Quality of Education, Scientific Research and Technological Processes: Series of monographs* 43Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied Arts Katowice School of Technology /Edited by Magdalena Gawron-Łapuszek Yana Suchukova. Publishing House of University of Technology, Katowice, 2021 : 1035–1041. ISBN 978–83–957298–6–7 URI: <https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/10363>
118. Бомба М. Я. Землеробство з основами ґрунтознавства, агрохімії та агроекології. Київ: Урожай, 2003. 504 с.
119. Маринич О. М., Шищенко П. Т. Фізична географія України: *підручник*. Київ : Знання, 2005. 511 с.
120. Довкілля Дніпропетровщини. Статистичний збірник. ДСС України. ГУС у Дніпропетровській області. Дніпро. 2021. 107 с.

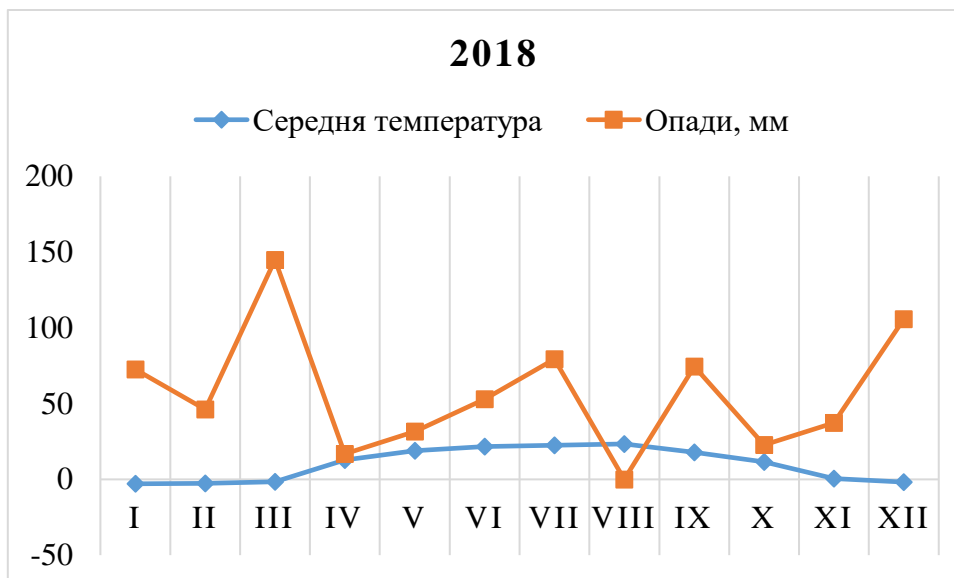
121. Гриб М. І. Агрокліматичні ресурси Полтавщини: Стан та шляхи використання. *Вісник Полтавського державного сільськогосподарського інституту*. 1999. № 4. 95 с.
122. Гамаюнов В. Є., Сидоренко А. І., Драгова Н. І. Природні умови та ґрунтовий покрив Полтавської області: *Методичні рекомендації для студентів агрономічного та гідромеліоративного факультетів*; за загальною редакцією В. А. Жукова.. Херсон, 1996. 33 с.
123. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М. та ін. Дослідна справа в агрономії: навч. посіб.: у 2 кн. – *Кн. 1. Теоретичні аспекти дослідної справи*; за ред. А. О. Рожкова. Харків: Майдан, 2016. 316 с.
124. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М. та ін. Дослідна справа в агрономії: навч. посіб.: у 2 кн. – *Кн. 2. Статистична обробка результатів досліджень*; за ред. А. О. Рожкова. Харків: Майдан, 2016. 352 с.
125. Федорчук М. І., Коковіхін С. В., Каленська С. М., Рахметов Д. Б. Агротехнологічні аспекти вирощування енергетичних культур в умовах півдня України. *Херсонський державний аграрний університет*. 2017. 128 с.
126. Федорчук М. І., Каленська С. М., Рахметов Д. Б., Коковіхін С. В. Методичні рекомендації з інноваційних технологій вирощування та переробки сорго для використання в якості альтернативних джерел енергії. *Херсонський державний аграрний університет*. 2017. 22 с.
127. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур (зернові, круп'яні та зернобобові культури); за ред. В. В. Волкодава. К., 2001. Вип. 2. 65 с.
128. Примаков С. П., Барабаш В. А., Черьопкіна Р. І. Виробництво сульфатної та органосольвентної целюлози. К.: ЕКМО, 2009. 280 с.
129. Гетьманчук Ю. П., Братичак М. М. Хімія та технологія полімерів. Львів: Видавництво “Бескид Біт”, 2006. 496 с.

130. Барбаш В. А., Антоненко Л. П., Дейкун І. М. Методичні вказівки до лабораторних робіт з хімії рослинної сировини, Київ, КФТП, 2003. 71 с.
131. Kulyk M., W. Elbersen. Methods of calculation productivity phytomass for switchgrass in Ukraine. Poltava, 2012. 10 p.
132. Калінченко О. В., Кулик М. І. Науковий твір «Експрес-аналіз економічної ефективності вирощування енергетичних культур в умовах Лісостепу України» (*Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 93178 від 18.10.2019*).
133. Калінченко О. В., Кулик М. І. Науковий твір «Методичні засади оцінки енергетичної ефективності вирощування енергетичних культур в умовах Лісостепу України» (*Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 93177 від 18.10.2019*).
134. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій у сільському господарстві. К. Урожай. 1998. 205 с.
135. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ: ПоліграфКонсалтинг. 2007. 55 с.
136. Інтернет джерело. URL: <http://www.yara.ua/products/yaratera-kristalon-special-18-18-18-3mg-micro/>
137. Інтернет джерело. URL: <http://agrobiotech.com.ua/ua/agrostimulin>
138. Інтернет джерело. URL: http://agro21.com.ua/wp-content/uploads/visokiy_uroжай_Rol-Agrostimulina-v-formirovanii-urozhaya-pshenitsy-Kazahstan.pdf
139. Реєстр сортів рослин України [Електронний ресурс]. Київ: Український інститут експертизи сортів рослин. URL: <http://service.ukragroexpert.com.ua/>
140. Інтернет джерело. Режим доступу: URL: <https://nrcs.usda.gov/plantmaterials/etpmcpg13196.pdf>
141. Інтернет джерело. Режим доступу: URL: <https://nrcs.usda.gov/plantmaterials/ndpmcbr3587.pdf>

142. Інтернет джерело. URL: [Conservation Plant Releases | Natural Resources Conservation Service \(usda.gov\)https://www.nrcs.usda.gov/plant-materials/cp/releases](https://www.nrcs.usda.gov/plant-materials/cp/releases)
143. Дьомін Д. Г. Вплив елементів технології вирощування на врожайність малопоширених енергетичних культур. Енергетичні культури : сортимент, біологія, екологія, агротехнологія: *колективна монографія* / за ред. док. с.-г. наук., проф. М. І. Кулика. Полтава: “Астроя”, 2023. С. 171–217.
144. Рожко І. І., Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Вплив біометричних показників рослин на врожайність біомаси інтродукованих малопоширених енергетичних культур. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. Вип. 2, С. 114–123. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.14>
145. Дьомін Д. Г., Кулик М. І., Михно Ю. В. Реалізація потенціалу насінневої продуктивності сорго багаторічного при застосуванні препарату «Агростимулін». *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. Вип. 4. С. 13–23. doi: 10.31210/visnyk2021.04.01
146. Дьомін Д. Г., Кулик М. І. Урожайність та енергопродуктивність енергетичних культур за сумісного вирощування у фітоценозі. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. № 26 (1). С. 18–23. doi: 10.31210/spi2023.26.01.03

Погодні умови років проведення дослідження

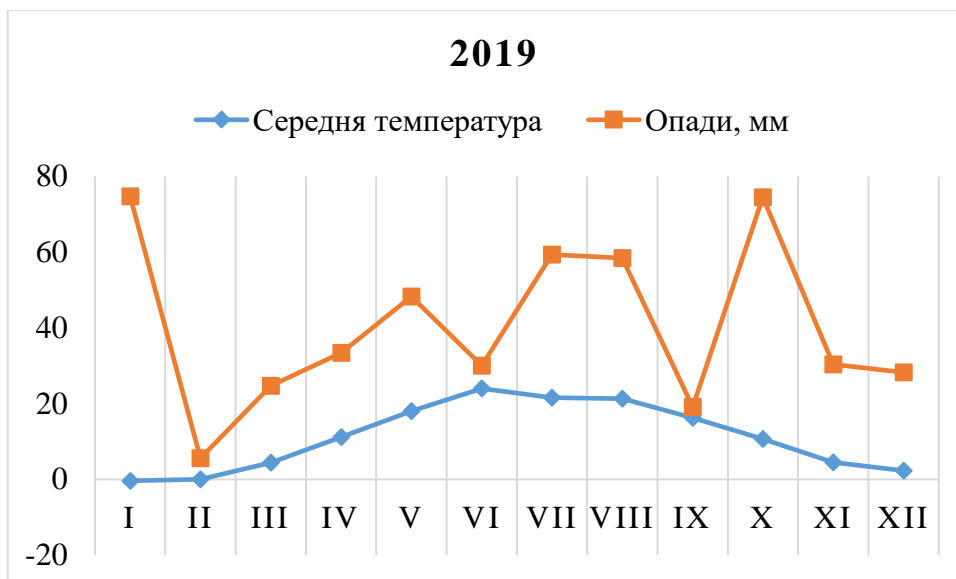
А.1. Погодні умови Степу



Дніпр. р-н 2018

	Середня температура	Опади, мм
I	-2,9	72,6
II	-2,6	46,2
III	-1,5	144,9
IV	12,9	16,9
V	18,9	31,5
VI	21,7	53
VII	22,5	79,3
VIII	23,4	0
IX	17,8	74,4
X	11,5	22,8
XI	0,6	37,4
XII	-1,8	105,7
		684,7

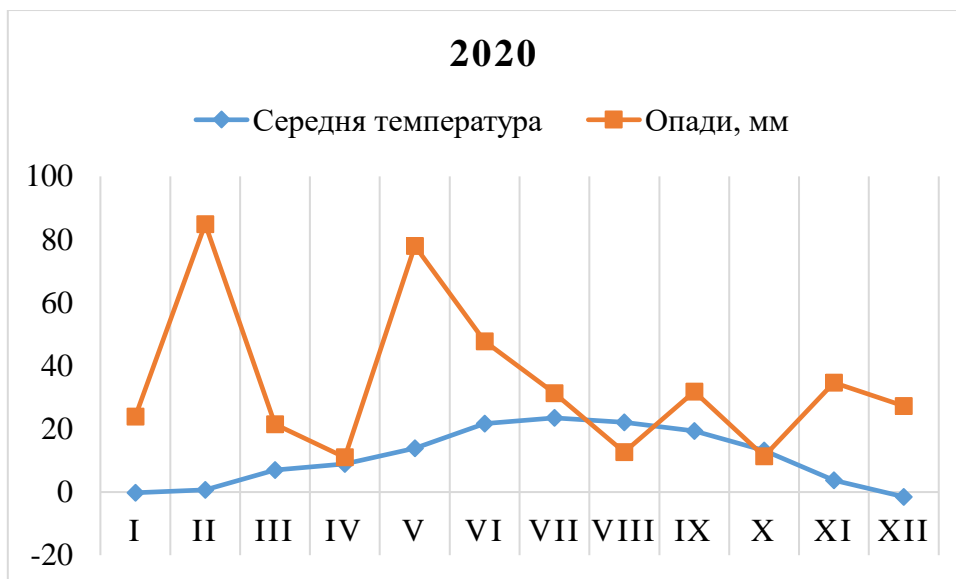
А.3. Погодні умови Степу



Дніпр. р-н 2019

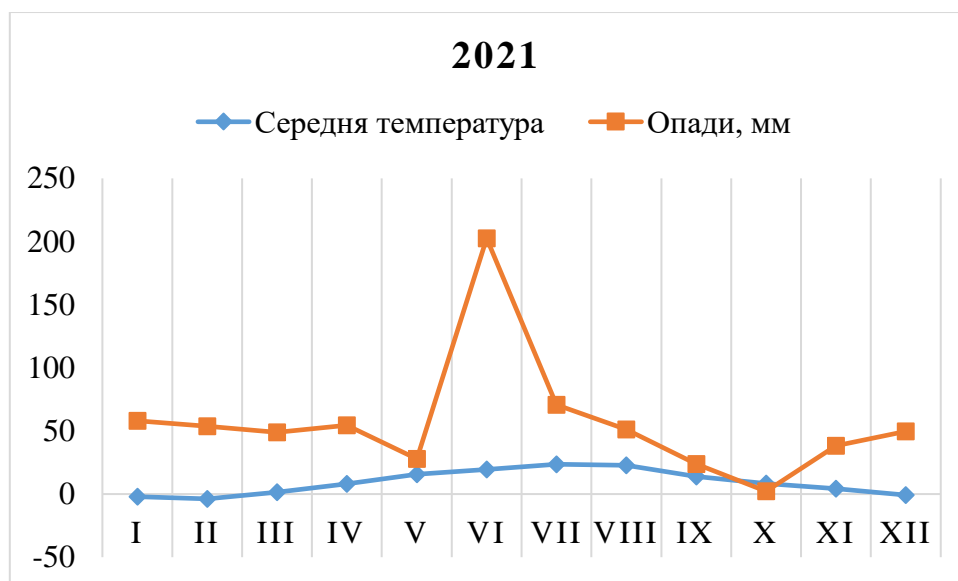
	Середня температура	Опади, мм
I	-0,36	74,7
II	0	5,6
III	4,4	24,7
IV	11,2	33,4
V	18	48,3
VI	24	30
VII	21,6	59,4
VIII	21,3	58,4
IX	16,3	19,1
X	10,7	74,5
XI	4,5	30,4
XII	2,3	28,3
		486,8

А.3. Погодні умови Степу

**Дніпр. р-н 2020**

	Середня температура	Опади, мм
I	-0,2	23,9
II	0,7	84,9
III	7	21,5
IV	8,9	11
V	13,9	78
VI	21,7	47,8
VII	23,5	31,3
VIII	22,1	12,7
IX	19,4	31,8
X	13,2	11,3
XI	3,7	34,7
XII	-1,5	27,3
		416,2

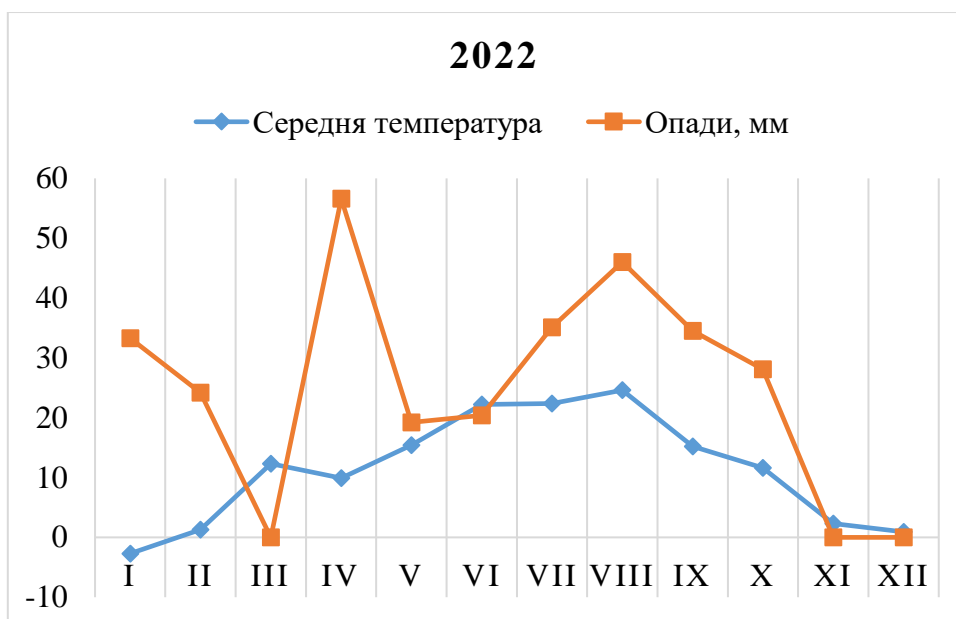
А.4. Погодні умови Степу



Дніпр. р-н 2021

	Середня температура	Опади, мм
I	-2	57,9
II	-3,8	53,6
III	1,6	49
IV	8	54,4
V	15,8	27,9
VI	19,5	202,5
VII	23,6	70,8
VIII	22,8	51,1
IX	13,8	23,9
X	8,4	2,2
XI	4,3	38,2
XII	-0,9	49,6
		681,1

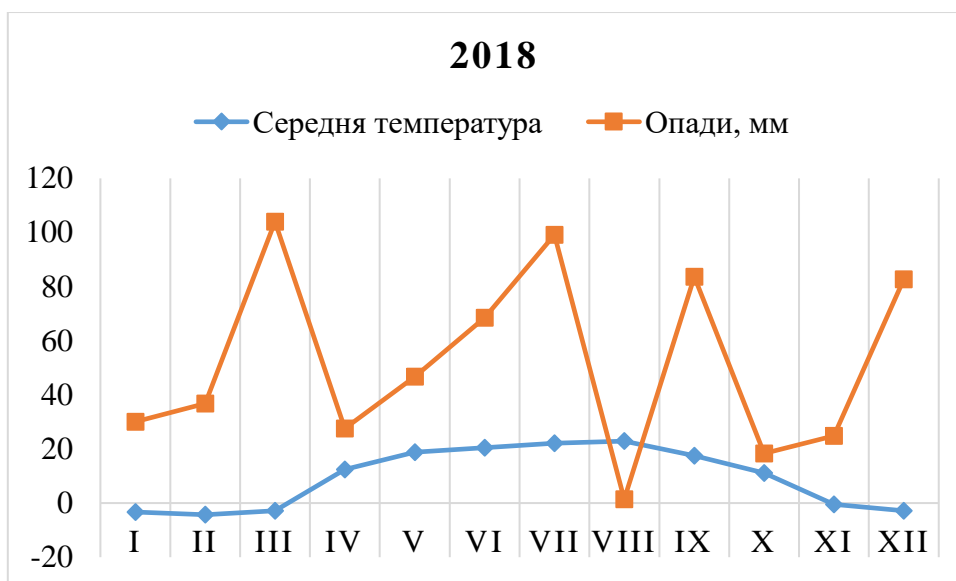
А.5. Погодні умови Степу



Дніпр. р-н 2022

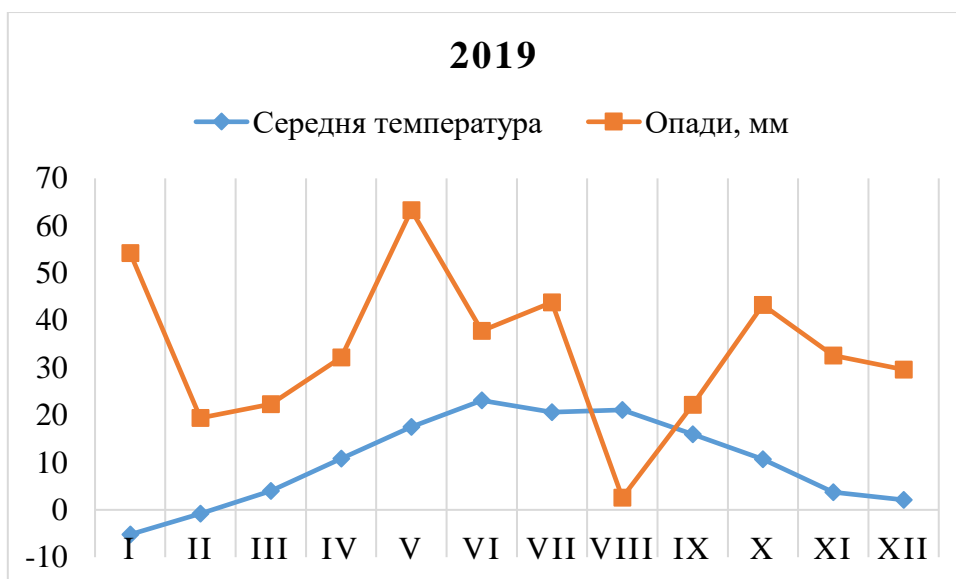
	Середня температура	Опали, мм
I	-2,7	33,3
II	1,3	24,2
III	12,3	0
IV	9,9	56,6
V	15,4	19,2
VI	22,2	20,4
VII	22,4	35,1
VIII	24,6	46
IX	15,2	34,5
X	11,6	28,1
XI	2,3	0
XII	0,9	0
		297,4

А.6. Погодні умови Лісостепу

**Полтав. р-н 2018**

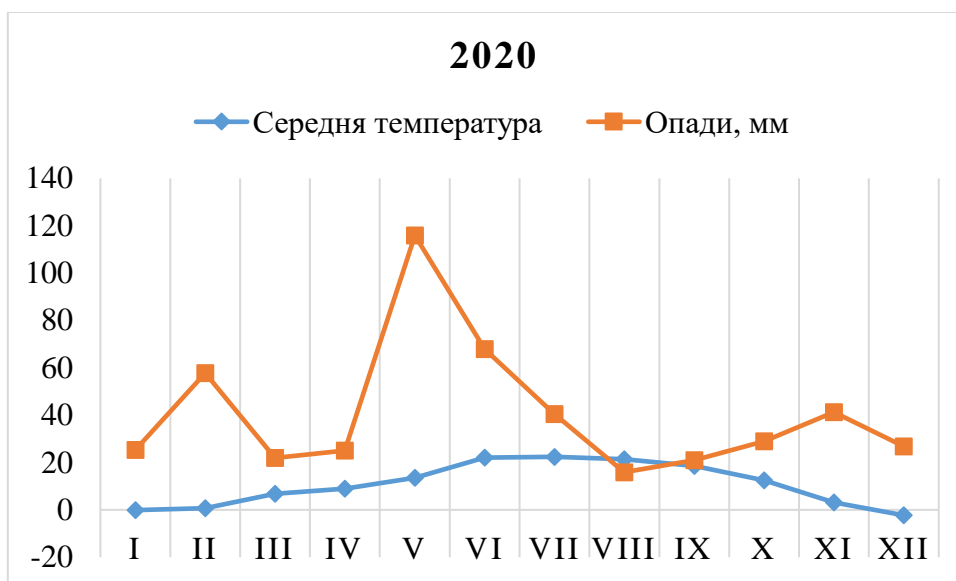
	Середня температура	Опади, мм
I	-3,3	30,1
II	-4,3	36,8
III	-2,8	104
IV	12,4	27,6
V	18,8	46,7
VI	20,5	68,5
VII	22,1	99,1
VIII	22,9	1,4
IX	17,5	83,7
X	11,1	18,4
XI	-0,5	24,8
XII	-2,8	82,7
		623,8

А.7. Погодні умови Лісостепу

**Полтав. р-н 2019**

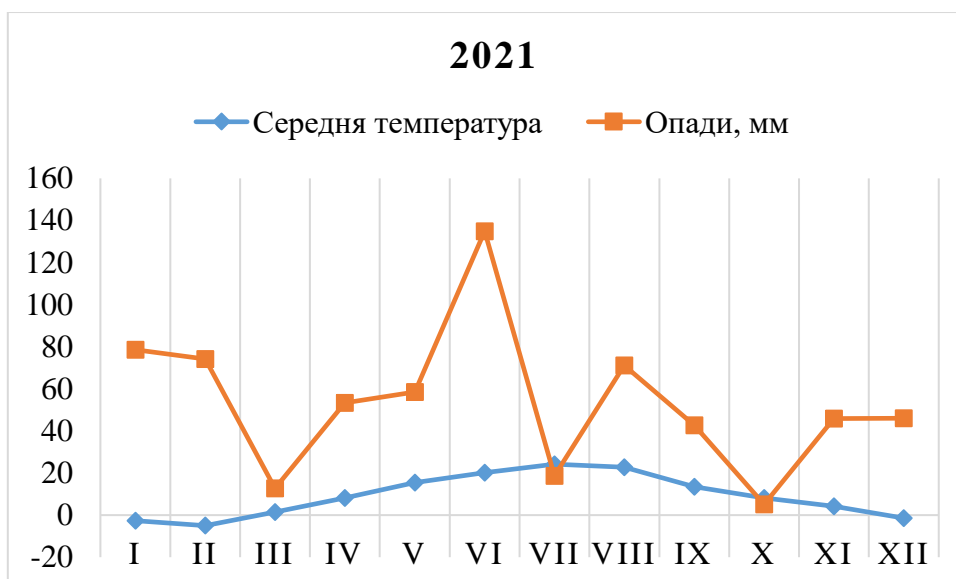
	Середня температура	Опади, мм
I	-5,2	54,2
II	-0,8	19,4
III	4	22,3
IV	10,8	32,2
V	17,5	63,3
VI	23,1	37,8
VII	20,6	43,8
VIII	21,1	2,6
IX	16	22,2
X	10,7	43,3
XI	3,7	32,6
XII	2,1	29,6
		403,3

А.8. Погодні умови Лісостепу

**Полтав. р-н 2020**

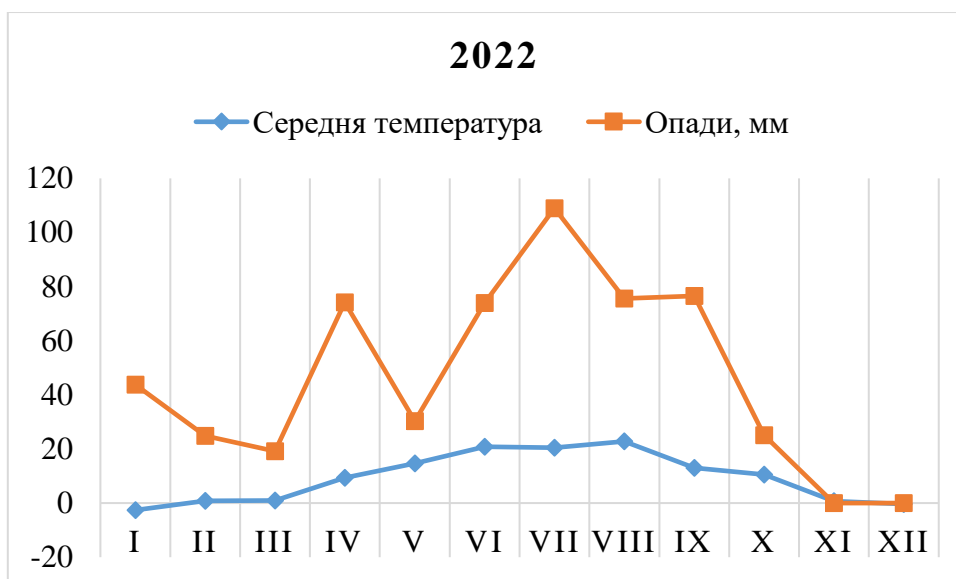
	Середня температура	Опади, мм
I	-0,1	25,3
II	0,7	57,8
III	6,8	21,9
IV	9	25,1
V	13,6	115,9
VI	22	67,9
VII	22,4	40,4
VIII	21,4	15,9
IX	18,6	21
X	12,5	28,9
XI	3,1	41,2
XII	-2,3	26,8
		488,1

А.9. Погодні умови Лісостепу

**Полтав. р-н 2021**

	Середня температура	Опали, мм
I	-2,6	78,6
II	-5	74,2
III	1,5	12,7
IV	8,1	53,4
V	15,5	58,5
VI	20,2	134,9
VII	24,2	18,7
VIII	22,7	71,2
IX	13,5	42,7
X	8,2	5,1
XI	4,2	45,9
XII	-1,5	46,1
		642

А.10. Погодні умови Лісостепу

**Полтав. р-н 2022**

	Середня температура	Опади, мм
I	-2,6	43,8
II	0,8	24,8
III	1	19,2
IV	9,4	74,2
V	14,7	30,3
VI	20,8	74
VII	20,5	109
VIII	22,8	75,6
IX	13	76,5
X	10,5	25,1
XI	0,7	0
XII	-0,3	0
		552,5

Математично-статистичний обрахунок врожайності енергетичних культур (одновидові та сумісні посіви) залежно від умов вирощування, 2018-2023 рр.

Урожайність енергетичних культур у одновидових посівах залежно від умов вирощування, 1 рік вегетації

Умови вирощування (Factor A)	Спосіб вирощування (Factor B)	Повторення			Середнє
		I	II	III	
Степ	Sw	3,7	3,8	3,8	3,8
	Bb	4,5	4,6	4,1	4,4
	Ig	1,9	2,3	2,5	2,2
	Sw+Bb	3,9	4,2	3,4	3,8
	Sw+Ig	4,6	4,8	5,0	4,8
	Bb+Ig	5,9	5,5	5,4	5,6
Лісостеп	Sw	3,8	3,7	4,0	3,9
	Bb	4,1	4,0	3,8	4,0
	Ig	3,7	3,7	4,0	3,8
	Sw+Bb	4,8	4,6	3,9	4,4
	Sw+Ig	2,3	2,1	2,5	2,2
	Bb+Ig	3,9	3,6	3,8	3,8
Середнє		3,8	3,9	3,9	3,9

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var3 (Spreadsheet2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	546,0011	1	546,0011	8156,033	0,000000
"Var1"	1,6044	1	1,6044	23,967	0,000054
"Var2"	9,9656	5	1,9931	29,773	0,000000
"Var1"*"Var2"	17,3222	5	3,4644	51,751	0,000000
Error	1,6067	24	0,0669		

НІР₀₅ (фактор А) 0,62

НІР₀₅ (фактор В) 0,97

НІР₀₅ (фактор А і В) 0,51

Урожайність енергетичних культур у одновидових посівах залежно від умов вирощування, 2 рік вегетації

Умови вирощування (Factor A)	Спосіб вирощування (Factor B)	Повторення			Середнє
		I	II	III	
Степ	Sw	8,9	9,2	9,9	9,3
	Bb	8,0	8,3	8,1	8,1
	Ig	6,1	6,4	6	6,2
	Sw+Bb	7,9	8	7,5	7,8
	Sw+Ig	9,0	9,4	8,8	9,1
	Bb+Ig	7,7	7,9	7,5	7,7
Лісостеп	Sw	5,6	6,2	5,8	5,9
	Bb	6,2	6,5	6,8	6,5
	Ig	9,4	9,1	9,5	9,3
	Sw+Bb	8,1	8,2	7,7	8,0
	Sw+Ig	6,0	6,4	6,2	6,2
	Bb+Ig	8,0	7,4	7,9	7,8
Середнє		7,6	7,8	7,6	7,7

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var3 (Spreadsheet2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	2109,871	1	2109,871	26012,11	0,000000
"Var1"	5,138	1	5,138	63,34	0,000000
"Var2"	1,159	5	0,232	2,86	0,036654
"Var1"*"Var2"	44,326	5	8,865	109,30	0,000000
Error	1,947	24	0,081		

НІР₀₅ (фактор А) 0,80

НІР₀₅ (фактор В) 1,71

НІР₀₅ (фактор А і В) 0,56

Урожайність енергетичних культур у одновидових посівах залежно від умов вирощування, 3 рік вегетації

Умови вирощування (Factor A)	Спосіб вирощування (Factor B)	Повторення			Середнє
		I	II	III	
Степ	Sw	12,4	13,2	12,7	12,8
	Bb	12,5	12,6	13,2	12,9
	Ig	8	7,5	7,9	7,8
	Sw+Bb	10,6	10	10,5	10,4
	Sw+Ig	11,1	11,2	11,5	11,3
	Bb+Ig	10,9	11,6	10,8	11,0
Лісостеп	Sw	5,9	6,5	6,2	6,3
	Bb	8	7,6	7,9	7,8
	Ig	13,4	12,2	12,8	12,8
	Sw+Bb	12,5	13,4	12,7	12,9
	Sw+Ig	7,9	8	7,4	7,8
	Bb+Ig	9,9	10,7	10,5	10,4
Середнє		10,3	10,4	10,3	10,3

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var3 (Spreadsheet2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	3837,803	1	3837,803	26984,55	0,000000
"Var1"	16,947	1	16,947	119,16	0,000000
"Var2"	19,189	5	3,838	26,98	0,000000
"Var1"*"Var2"	150,298	5	30,060	211,36	0,000000
Error	3,413	24	0,142		

НІР₀₅ (фактор А) 1,52

НІР₀₅ (фактор В) 2,80

НІР₀₅ (фактор А і В) 0,74

Урожайність енергетичних культур у одновидових посівах залежно від умов вирощування, 4 рік вегетації

Умови вирощування (Factor A)	Спосіб вирощування (Factor B)	Повторення			Середнє
		I	II	III	
Степ	Sw	14,8	14,6	15,2	14,9
	Bb	13,7	12,9	13,8	13,5
	Ig	10,9	10,5	10,7	10,7
	Sw+Bb	10,9	11,5	11,2	11,2
	Sw+Ig	12,7	12,4	12,5	12,5
	Bb+Ig	12,8	13,1	12,7	12,9
Лісостеп	Sw	9,5	10	10	9,8
	Bb	9,8	9,6	10,2	9,9
	Ig	15,2	14,5	15,1	14,9
	Sw+Bb	13,6	12,9	13,8	13,5
	Sw+Ig	10,7	10,5	11,1	10,7
	Bb+Ig	10,9	11,1	11,5	11,2
Середнє		12,1	12,0	12,3	12,1

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var3 (Spreadsheet2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	5302,267	1	5302,267	50364,54	0,000000
"Var1"	7,934	1	7,934	75,36	0,000000
"Var2"	6,075	5	1,215	11,54	0,000009
"Var1"*"Var2"	92,888	5	18,578	176,46	0,000000
Error	2,527	24	0,105		

НІР₀₅ (фактор А) 1,17

НІР₀₅ (фактор В) 2,19

НІР₀₅ (фактор А і В) 0,55

Урожайність енергетичних культур у одновидових посівах залежно від умов вирощування, 5 рік вегетації

Умови вирощування (Factor A)	Спосіб вирощування (Factor B)	Повторення			Середнє
		I	II	III	
Степ	Sw	14,9	15,4	15,2	15,2
	Bb	14,8	14,5	14,7	14,7
	Ig	12,3	11,9	12,5	12,2
	Sw+Bb	12,8	13,2	12,5	12,9
	Sw+Ig	14	14,2	14,5	14,2
	Bb+Ig	14,3	14,4	14,7	14,5
Лісостеп	Sw	11,2	11,4	10,4	11,0
	Bb	11,6	12	11,5	11,7
	Ig	15,5	15,4	15,2	15,2
	Sw+Bb	14,2	15	14,8	14,7
	Sw+Ig	11,9	12,4	12,1	12,2
	Bb+Ig	12,6	13,6	12,5	12,9
Середнє		13,3	13,6	13,4	13,4

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var3 (Spreadsheet2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	6509,800	1	6509,800	56199,71	0,000000
"Var1"	8,507	1	8,507	73,44	0,000000
"Var2"	3,261	5	0,652	5,63	0,001428
"Var1"*"Var2"	60,801	5	12,160	104,98	0,000000
Error	2,780	24	0,116		

НІР₀₅ (фактор А) 0,95

НІР₀₅ (фактор В) 1,82

НІР₀₅ (фактор А і В) 0,57

Урожайність енергетичних культур у одновидових посівах залежно від умов вирощування, за 5 років вегетації

Умови вирощування (Factor A)	Спосіб вирощування (Factor B)	Рік вегетації					Середнє
		1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	
Степ	Sw	3,8	9,3	12,8	14,9	15,2	8,6
	Bb	4,4	8,1	12,9	13,5	14,7	8,5
	Ig	2,2	6,2	7,8	10,7	12,2	5,4
	Sw+Bb	3,8	7,8	10,4	11,2	12,9	7,3
	Sw+Ig	4,8	9,1	11,3	12,5	14,2	8,4
	Bb+Ig	5,6	7,7	11,0	12,9	14,5	8,1
Лісостеп	Sw	3,9	5,9	6,3	9,8	11,0	5,4
	Bb	4,0	6,5	7,8	9,9	11,7	6,1
	Ig	3,8	9,3	12,8	14,9	15,2	8,6
	Sw+Bb	4,4	8,1	12,9	13,5	14,7	8,5
	Sw+Ig	2,2	6,2	7,8	10,7	12,2	5,4
	Bb+Ig	3,8	7,8	10,4	11,2	12,9	7,3
Середнє		3,9	7,7	10,4	12,1	13,5	7,3

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var4 (Spreadsheet23) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	12646,48	1	12646,48	1111,572	0,000000
"Var2"	395,02	2	197,51	17,360	0,000000
"Var3"	10,41	5	2,08	0,183	0,968682
"Var2"*"Var3"	293,50	10	29,35	2,580	0,006336
Error	1843,09	162	11,38		

НІР₀₅ (фактор А) 1,58

НІР₀₅ (фактор В) 1,93

НІР₀₅ (фактор А і В) 3,75

Графіки залежностей

$$\text{Var4} = -167,5713 + 1,6226 * x + 0,0374 * y$$

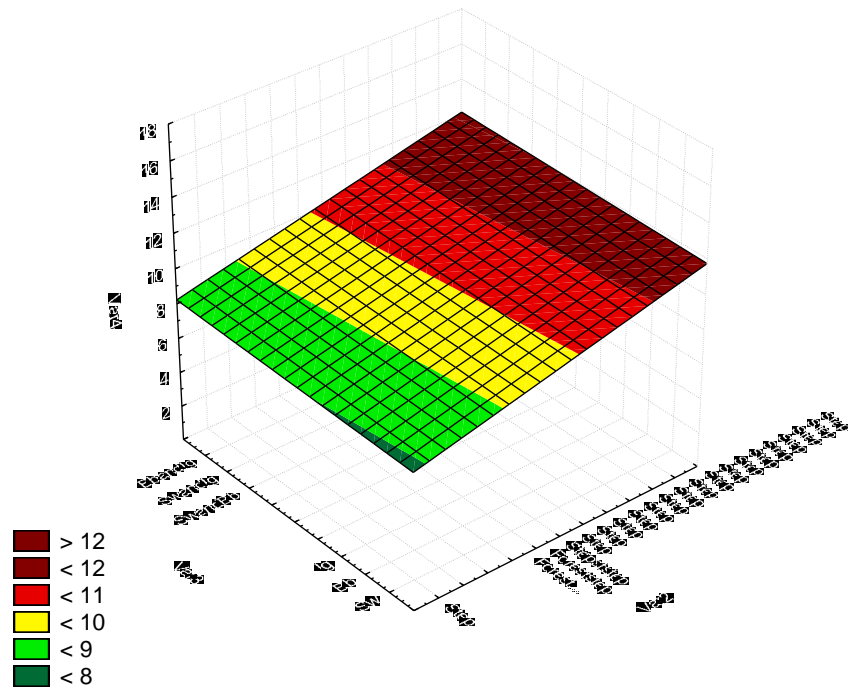


Рис. Б.1. Тримірна модель впливу умов та способу вирощування на врожайність біомаси енергетичних культур

$$\text{Var4} = 6782,7421 + 103,89 * x - 232,0341 * y - 0,4037 * x * x - 0,1496 * x * y + 1,1595 * y * y$$

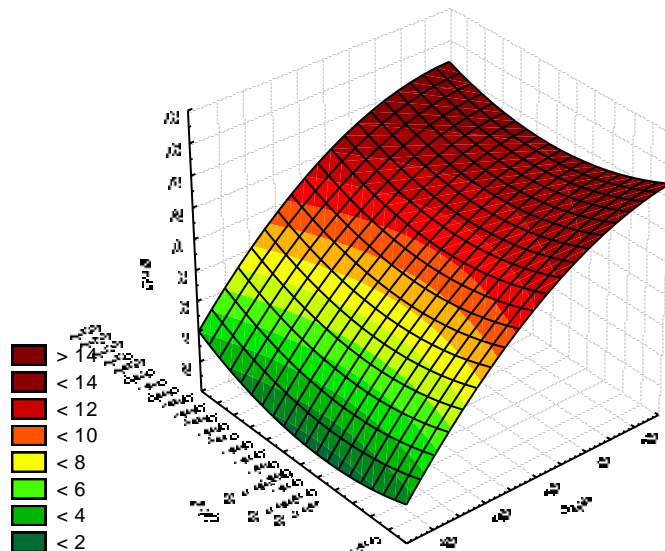


Рис. Б.2. Тримірна модель впливу умов та способу вирощування на врожайність біомаси енергетичних культур в розрізі років дослідження

**Урожайність енергетичних культур у сумісних посівах в умовах
Степу, 1 рік вегетації**

Спосіб вирощування (Factor A)	Повторення			Середнє
	I	II	III	
Sw	9,1	9,5	9,3	9,3
Bb	5,9	6,3	6,1	6,2
Ig	7,9	7,6	8	7,8
Sw+Bb	9,5	9,9	9,4	9,6
Sw+Ig	9,8	10,2	10,4	10,1
Bb+Ig	7,2	7,8	7,7	7,6
Середнє	8,2	8,6	8,5	8,4

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var2 (Spreadsheet32) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	1276,809	1	1276,809	19643,21	0,000000
"Var1"	34,671	5	6,934	106,68	0,000000
Error	0,780	12	0,065		

HP_{05} (фактор A) 0,45

**Урожайність енергетичних культур у сумісних посівах в умовах
Степу, 2 рік вегетації**

Спосіб вирощування (Factor A)	Повторення			Середнє
	I	II	III	
Sw	12,5	13,2	12,7	12,8
Bb	7,6	8	7,7	7,8
Ig	10,3	10	10,6	10,4
Sw+Bb	13,8	14,2	13,6	13,8
Sw+Ig	13,9	14,4	14,5	14,3
Bb+Ig	11	11,5	11,4	11,3
Середнє	11,5	11,9	11,8	11,7

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var2 (Spreadsheet32) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	2471,045	1	2471,045	27974,09	0,000000
"Var1"	90,245	5	18,049	204,33	0,000000
Error	1,060	12	0,088		

HP_{05} (фактор A) 0,53

**Урожайність енергетичних культур у сумісних посівах в умовах
Степу, 3 рік вегетації**

Спосіб виращування (Factor A)	Повторення			Середнє
	I	II	III	
Sw	14,7	15,2	14,8	14,9
Bb	10,4	11	10,6	10,7
Ig	11,3	10,8	11,5	11,2
Sw+Bb	14,8	15,2	14,6	14,9
Sw+Ig	14,7	15,4	14,9	15,0
Bb+Ig	12,2	12,7	12,4	12,5
Середнє	13,0	13,4	13,1	13,2

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var2 (Spreadsheet32) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	3125,769	1	3125,769	32335,54	0,000000
"Var1"	59,731	5	11,946	123,58	0,000000
Error	1,160	12	0,097		

HP_{05} (фактор A) 0,55

**Урожайність енергетичних культур у сумісних посівах в умовах
Степу, 4 рік вегетації**

Спосіб вирощування (Factor A)	Повторення			Середнє
	I	II	III	
Sw	14,8	15,7	15,0	15,2
Bb	11,8	12,5	12,2	12,2
Ig	12,6	13,5	12,8	12,9
Sw+Bb	14,9	15,6	15,1	15,2
Sw+Ig	15,2	15,3	15,6	15,4
Bb+Ig	12,8	12,7	12,4	12,6
Середнє	13,7	14,2	13,9	13,9

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var2 (Spreadsheet32) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	3486,125	1	3486,125	26589,09	0,000000
"Var1"	32,772	5	6,554	49,99	0,000000
Error	1,573	12	0,131		

HP_{05} (фактор A) 0,64

**Урожайність енергетичних культур у сумісних посівах в умовах
Степу, за 4 роки вегетації**

Спосіб вирощування (Factor B)	Рік (Factor A)				Середнє	Сума
	1-й	2-й	3-й	4-й		
Sw	9,3	12,8	14,9	15,2	13,1	52,2
Bb	6,2	7,8	10,7	12,2	9,2	36,9
Ig	7,8	10,4	11,2	12,9	10,6	42,3
Sw+Bb	9,6	13,8	14,9	15,2	13,4	53,5
Sw+Ig	10,1	14,3	15,0	15,4	13,7	54,8
Bb+Ig	7,6	11,3	12,5	12,6	11,0	44,0
Середнє	8,4	11,7	13,2	13,9	-	-
Сума	50,6	70,4	79,2	83,5	-	283,7

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var3 (Spreadsheet45) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	10039,45	1	10039,45	105370,3	0,000000
"Var1"	320,30	3	106,77	1120,6	0,000000
"Var2"	200,22	5	40,04	420,3	0,000000
"Var1"*"Var2"	17,20	15	1,15	12,0	0,000000
Error	4,57	48	0,10		

НІР₀₅ (фактор А) 1,20

НІР₀₅ (фактор В) 2,01

НІР₀₅ (фактор А і В) 0,60

Графіки залежностей

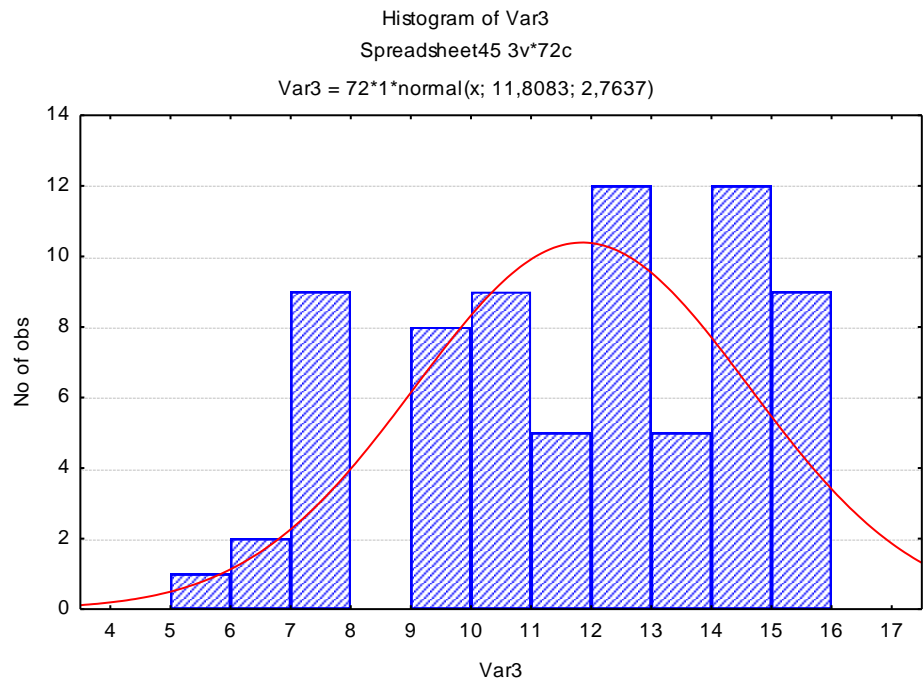


Рис. Б.3. Графік нормального розподілу впливу способу вирощування на врожайність біомаси енергетичних культур

$$Var3 = -190,0622 + 1,7944 * x + 0,1733 * y$$

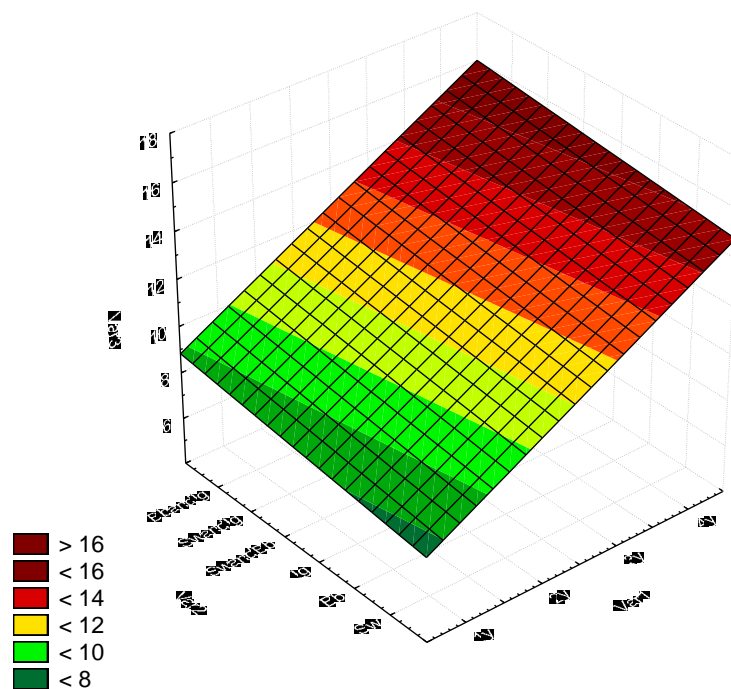


Рис. Б.4. Тримірна модель впливу способу вирощування на врожайність біомаси енергетичних культур, в динаміці років дослідження

**Урожайність енергетичних культур у сумісних посівах в умовах
Лісостепу, 1 рік вегетації**

Спосіб вирощування (Factor A)	Повторення			Середнє
	I	II	III	
Sw	6,7	7,1	6,8	6,9
Bb	4,2	3,7	4,4	4,1
Ig	5,4	4,9	5,7	5,3
Sw+Bb	6,1	5,2	5,8	5,7
Sw+Ig	7,5	6,9	7,6	7,3
Bb+Ig	4,7	4,2	4,9	4,6
	5,8	5,3	5,9	5,7

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var2 (Spreadsheet32) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	575,7356	1	575,7356	4212,699	0,000000
"Var1"	23,7644	5	4,7529	34,777	0,000001
Error	1,6400	12	0,1367		

HP_{05} (фактор A) 0,66

**Урожайність енергетичних культур у сумісних посівах в умовах
Лісостепу, 2 рік вегетації**

Спосіб вирощування (Factor A)	Повторення			Середнє
	I	II	III	
Sw	7,9	8,4	8,3	8,2
Bb	5,6	5,4	5,8	5,6
Ig	6,7	6,1	6,5	6,4
Sw+Bb	8,4	7,7	8,2	8,1
Sw+Ig	8,7	7,9	8,8	8,5
Bb+Ig	6,5	5,5	5,9	6,0
	7,3	6,8	7,3	7,1

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var2 (Spreadsheet32) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	914,4939	1	914,4939	6610,799	0,000000
"Var1"	24,1561	5	4,8312	34,924	0,000001
Error	1,6600	12	0,1383		

HP_{05} (фактор A) 0,66

**Урожайність енергетичних культур у сумісних посівах в умовах
Лісостепу, 3 рік вегетації**

Спосіб вирощування (Factor A)	Повторення			Середнє
	I	II	III	
Sw	12,1	12,8	12,6	12,6
Bb	7,4	7,2	7,7	7,4
Ig	8,8	8,4	8,9	8,7
Sw+Bb	10,4	9,8	10,2	10,1
Sw+Ig	12,8	12,6	13,2	12,9
Bb+Ig	8,2	7,8	8,3	8,1
	10,0	9,8	10,2	10,0

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var2 (Spreadsheet32) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	1784,036	1	1784,036	20585,03	0,000000
"Var1"	79,084	5	15,817	182,50	0,000000
Error	1,040	12	0,087		

HP_{05} (фактор A) 0,52

**Урожайність енергетичних культур у сумісних посівах в умовах
Лісостепу, 4 рік вегетації**

Спосіб вирощування (Factor A)	Повторення			Середнє
	I	II	III	
Sw	12,8	13,6	12,9	13,2
Bb	9,2	8,7	8,8	8,9
Ig	10,1	10	10,5	10,2
Sw+Bb	11,8	11	11,4	11,4
Sw+Ig	14,2	13,8	14,4	14,1
Bb+Ig	9,7	9,2	9,9	9,6
	11,3	11,1	11,3	11,2

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var2 (Spreadsheet32) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	2266,889	1	2266,889	19067,29	0,000000
"Var1"	63,304	5	12,661	106,49	0,000000
Error	1,427	12	0,119		

HP_{05} (фактор A) 0,61

**Урожайність енергетичних культур у сумісних посівах в умовах
Лісостепу, за 4 роки вегетації**

Спосіб вирощування (Factor B)	Рік (Factor A)				Середнє	Сума
	1-й	2-й	3-й	4-й		
Sw	6,9	8,2	12,6	13,2	10,2	40,9
Bb	4,1	5,6	7,4	8,9	6,5	26
Ig	5,3	6,4	8,7	10,2	7,7	30,6
Sw+Bb	5,7	8,1	10,1	11,4	8,8	35,3
Sw+Ig	7,3	8,5	12,9	14,1	10,7	42,8
Bb+Ig	4,6	6,0	8,1	9,6	7,1	28,3
Середнє	5,7	7,1	10,0	11,2	-	-
Сума	33,9	42,8	59,8	67,4	-	203,9

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var3 (Spreadsheet45) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	5190,107	1	5190,107	43200,89	0,000000
"Var1"	351,047	3	117,016	974,00	0,000000
"Var2"	173,327	5	34,665	288,54	0,000000
"Var1"*"Var2"	16,982	15	1,132	9,42	0,000000
Error	5,767	48	0,120		

НІР₀₅ (фактор А) 1,13

НІР₀₅ (фактор В) 2,04

НІР₀₅ (фактор А і В) 0,57

Графіки залежностей

$$\text{Var3} = -186,4698 + 1,9528 \cdot x - 0,0502 \cdot y$$

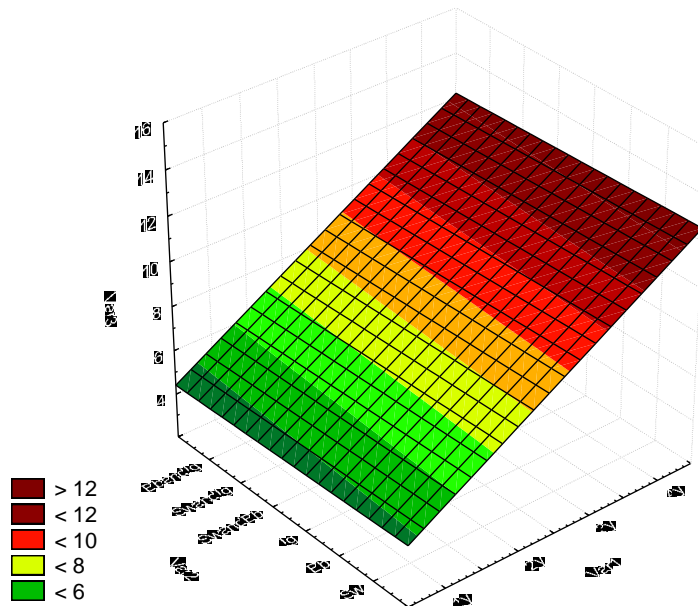


Рис. Б.5. Тримірна модель впливу умов вирощування на врожайність біомаси енергетичних культур, в динаміці років дослідження

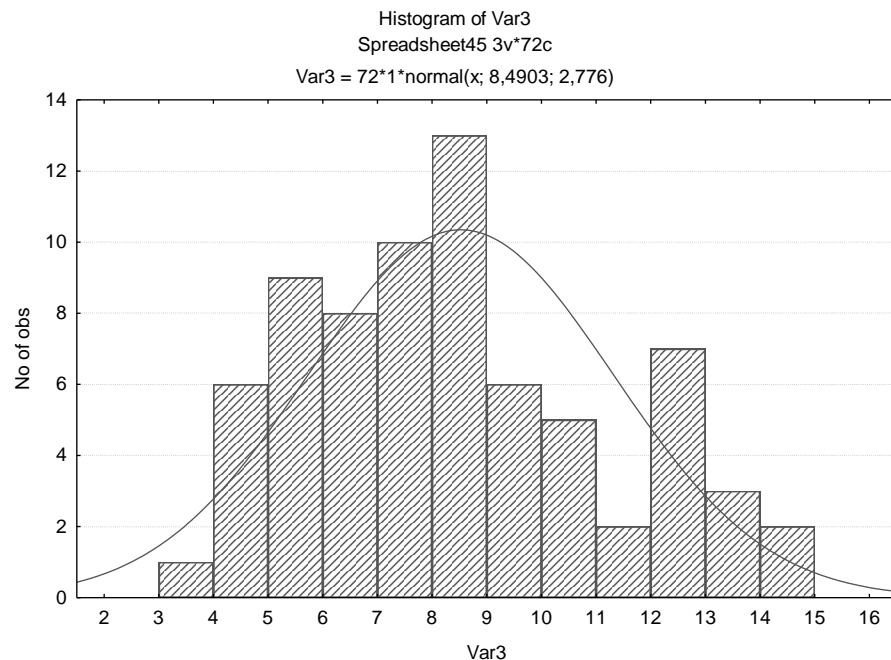


Рис. Б.6. Графік нормального розподілу впливу умов вирощування на врожайність біомаси енергетичних культур

Урожайність енергетичних культур у сумісних посівах із застосуванням підживлення, 1 рік вегетації

Factor A	Factor B	Повторення				Середнє
		I	II	III	IV	
Sw	var.1	6,8	7	6,7	6,9	6,9
	var.2	6,9	7,2	7,4	6,8	7,1
Bb	var.1	4,1	4,2	4,1	4,1	4,1
	var.2	4,5	4,5	4,7	4,6	4,6
Ig	var.1	5,2	5,4	5,2	5,3	5,3
	var.2	6,0	5,9	6,0	5,8	5,9
Sw+Bb	var.1	5,7	5,5	5,7	5,7	5,7
	var.2	6,2	6,2	6,2	6,1	6,2
Sw+Ig	var.1	7,1	7,5	7	7,2	7,3
	var.2	7,4	7,3	7,7	7,5	7,5
Bb+Ig	var.1	4,5	4,7	4,6	4,6	4,6
	var.2	5,1	5,1	5,0	5,1	5,1

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var3 (Spreadsheet2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	1613,560	1	1613,560	273356,1	0,000000
"Var1"	51,434	5	10,287	1742,7	0,000000
"Var2"	3,050	1	3,050	516,7	0,000000
"Var1"*"Var2"	0,074	5	0,015	2,5	0,038922
Error	0,213	36	0,006		

НІР₀₅ (фактор А) 0,32

НІР₀₅ (фактор В) 0,61

НІР₀₅ (фактор А і В) 0,13

Урожайність енергетичних культур у сумісних посівах із застосуванням підживлення, 2 рік вегетації

Factor A	Factor B	Повторення				Середнє
		I	II	III	IV	
Sw	var.1	8,1	8,4	8	8,1	8,2
	var.2	8,5	8,4	8,8	8,5	8,6
Bb	var.1	5,6	5,6	5,6	5,7	5,6
	var.2	5,9	6,1	6,0	6,0	6,0
Ig	var.1	6,4	6,3	6,4	6,4	6,4
	var.2	6,8	6,7	6,8	6,8	6,8
Sw+Bb	var.1	8,0	8,0	8,2	8,1	8,1
	var.2	8,6	8,6	8,6	8,5	8,6
Sw+Ig	var.1	8,2	8,7	8,5	8,6	8,5
	var.2	8,6	8,5	9	8,7	8,8
Bb+Ig	var.1	5,9	6,0	5,8	6,1	6,0
	var.2	6,5	6,4	6,5	6,4	6,5

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var3 (Spreadsheet2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	2731,592	1	2731,592	510843,2	0,000000
"Var1"	126,452	5	25,290	4729,6	0,000000
"Var2"	2,755	1	2,755	515,3	0,000000
"Var1"*"Var2"	0,119	5	0,024	4,4	0,003005
Error	0,193	36	0,005		

НІР₀₅ (фактор А) 0,30

НІР₀₅ (фактор В) 0,96

НІР₀₅ (фактор А і В) 0,12

Урожайність енергетичних культур у сумісних посівах із застосуванням підживлення, 3 рік вегетації

Factor A	Factor B	Повторення				Середнє
		I	II	III	IV	
Sw	var.1	12,7	12,5	12,6	12,4	12,6
	var.2	12,8	12,8	12,9	13,0	12,9
Bb	var.1	7,4	7,3	7,4	7,4	7,4
	var.2	7,8	7,7	7,7	7,6	7,7
Ig	var.1	8,8	8,7	8,6	8,7	8,7
	var.2	8,9	9,0	8,9	9,0	9,0
Sw+Bb	var.1	10,2	10,1	10,0	10,2	10,1
	var.2	10,4	10,3	10,5	10,4	10,4
Sw+Ig	var.1	12,8	13	12,7	12,9	12,9
	var.2	13,4	13,1	13	13,5	13,3
Bb+Ig	var.1	8,0	8,1	8,0	8,1	8,1
	var.2	8,4	8,5	8,4	8,4	8,4

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var3 (Spreadsheet2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	4574,707	1	4574,707	686206,1	0,000000
"Var1"	149,112	5	29,822	4473,4	0,000000
"Var2"	1,268	1	1,268	190,1	0,000000
"Var1"*"Var2"	0,032	5	0,006	1,0	0,446185
Error	0,240	36	0,007		

НІР₀₅ (фактор А) 0,21

НІР₀₅ (фактор В) 1,05

НІР₀₅ (фактор А і В) 0,14

Урожайність енергетичних культур у сумісних посівах із застосуванням підживлення, 4 рік вегетації

Factor A	Factor B	Повторення				Середнє
		I	II	III	IV	
Sw	var.1	12,9	13,2	13,4	13,1	13,2
	var.2	13,5	13,4	13,5	13,8	13,6
Bb	var.1	9,0	8,8	8,9	8,9	8,9
	var.2	9,2	9,1	9,3	9,2	9,2
Ig	var.1	10,1	10,2	10,3	10,1	10,2
	var.2	10,4	10,5	10,4	10,6	10,5
Sw+Bb	var.1	11,4	11,5	11,3	11,4	11,4
	var.2	11,8	11,7	11,7	11,6	11,7
Sw+Ig	var.1	13,9	14,3	14,2	14	14,1
	var.2	14,4	14,3	14,5	14,6	14,5
Bb+Ig	var.1	9,6	9,5	9,6	9,7	9,6
	var.2	9,9	10,0	9,9	9,8	9,9

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var3 (Spreadsheet2) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	5770,660	1	5770,660	822747,6	0,000000
"Var1"	111,931	5	22,386	3191,7	0,000000
"Var2"	0,880	1	0,880	125,5	0,000000
"Var1"*"Var2"	0,026	5	0,005	0,7	0,596735
Error	0,252	36	0,007		

НІР₀₅ (фактор А) 0,19

НІР₀₅ (фактор В) 0,91

НІР₀₅ (фактор А і В) 0,14

Урожайність енергетичних культур у сумісних посівах із застосуванням підживлення, за 4 роки вегетації

Factor B	Factor C	Рік вегетації Factor A				Середнє	Сума
		1-й	2-й	3-й	4-й		
Sw	var.1	6,9	8,2	12,6	13,2	10,2	40,9
	var.2	7,1	8,6	12,9	13,6	10,6	42,2
Bb	var.1	4,1	5,6	7,4	8,9	6,5	26
	var.2	4,6	6	7,7	9,2	6,9	27,5
Ig	var.1	5,3	6,4	8,7	10,2	7,7	30,6
	var.2	5,9	6,8	9,0	10,5	8,1	32,2
Sw+Bb	var.1	5,7	8,1	10,1	11,4	8,8	35,3
	var.2	6,2	8,6	10,4	11,7	9,2	36,9
Sw+Ig	var.1	7,3	8,5	12,9	14,1	10,7	42,8
	var.2	7,5	8,8	13,3	14,5	11,0	44,1
Bb+Ig	var.1	4,6	6	8,1	9,6	7,1	28,3
	var.2	5,1	6,5	8,4	9,9	7,5	29,9
Середнє		5,9	7,3	10,1	11,4	-	-
Сума		70,3	88,1	121,5	136,8	-	416,7

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var4 (Spreadsheet19) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	13928,16	1	13928,16	2234713	0,000000
"Var1"	762,36	3	254,12	40773	0,000000
"Var2"	413,44	5	82,69	13267	0,000000
"Var3"	7,48	1	7,48	1200	0,000000
"Var1"*"Var2"	25,49	15	1,70	273	0,000000
"Var1"*"Var3"	0,47	3	0,16	25	0,000000
"Var2"*"Var3"	0,08	5	0,02	3	0,028990
"Var1"*"Var2"*"Var3"	0,17	15	0,01	2	0,036674
Error	0,90	144	0,01		

НІР₀₅ (фактор А – рік) 0,67

НІР₀₅ (фактор В – спосіб вирощування) 1,15

НІР₀₅ (фактор С – підживлення) 0,71

НІР₀₅ (фактор А, В, С) 0,14

Графіки залежностей

$$\text{Урожай} = -213,1714 + 1,7719 \cdot x + 0,3948 \cdot y$$

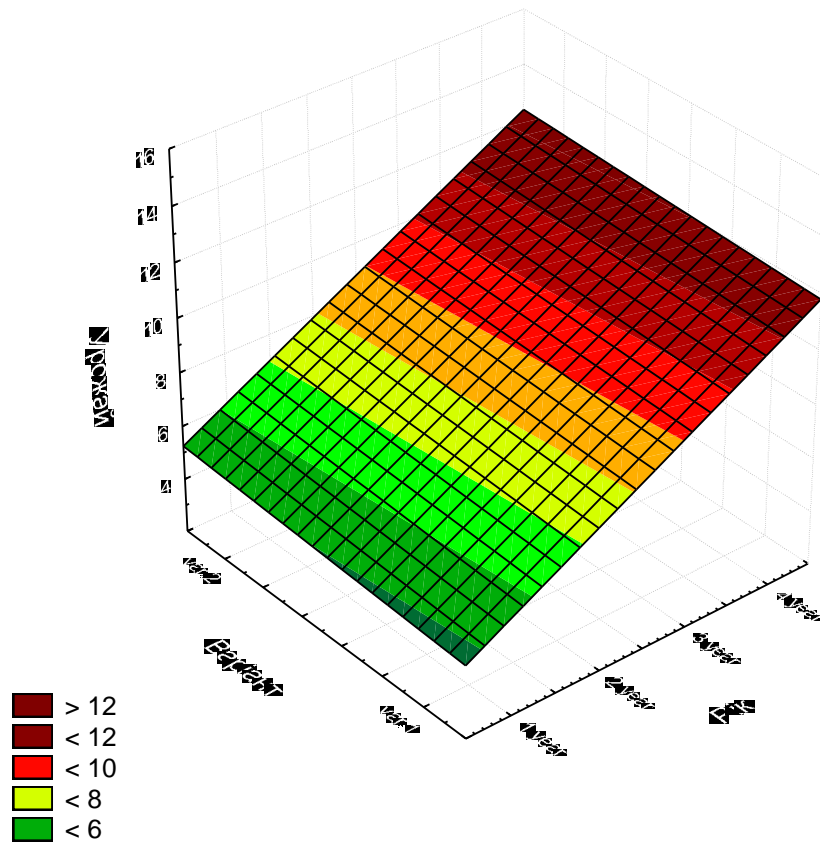


Рис. Б.7. Тримірна модель впливу підживлення на врожайність біомаси енергетичних культур, в динаміці років дослідження

Продовження додатку Б
Графіки залежностей

$$\text{Урожай} = -141,5233 + 1,7719 \cdot x - 0,3051 \cdot y$$

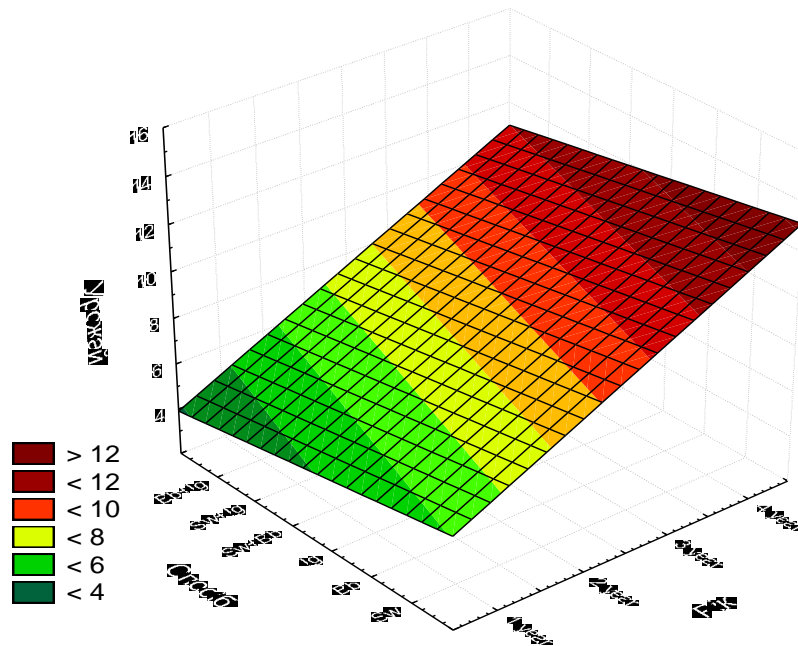


Рис. Б.8. Тримірна модель впливу способу вирощування на врожайність біомаси енергетичних культур, в динаміці років дослідження

Графіки залежностей

$$\text{Урожай} = 0,0226 - 0,3051 \cdot x + 0,3948 \cdot y$$



Рис. Б.9. Тримірна модель впливу способу вирощування та підживлення на врожайність біомаси енергетичних культур, в середньому за роки

Графіки залежностей

$$Z = -29,1477 - 0,1568 * x + 0,5042 * y$$

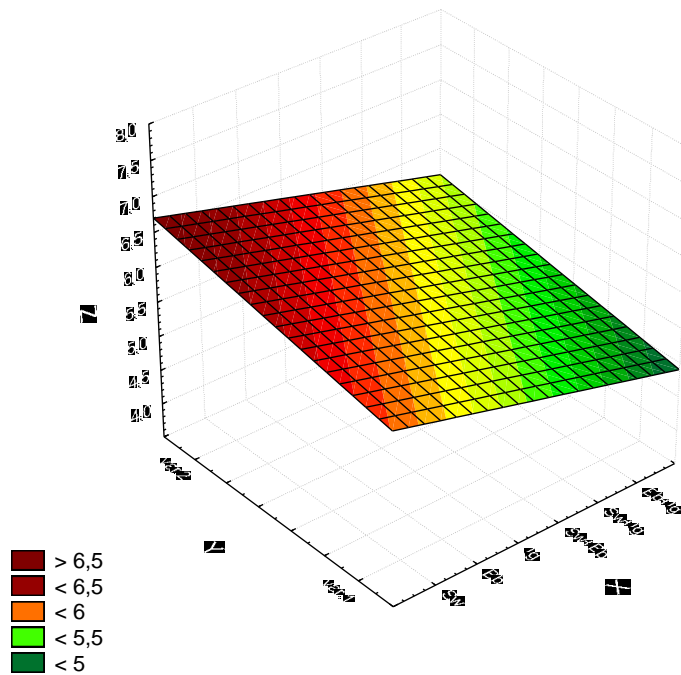


Рис. Б.10. Тримірна модель впливу способу вирощування енергетичних культур і застосування підживлення на врожайність біомаси енергетичних культур, 1 вегетаційний рік

$$Z = 1,8978 - 0,4154 * x + 0,4792 * y$$

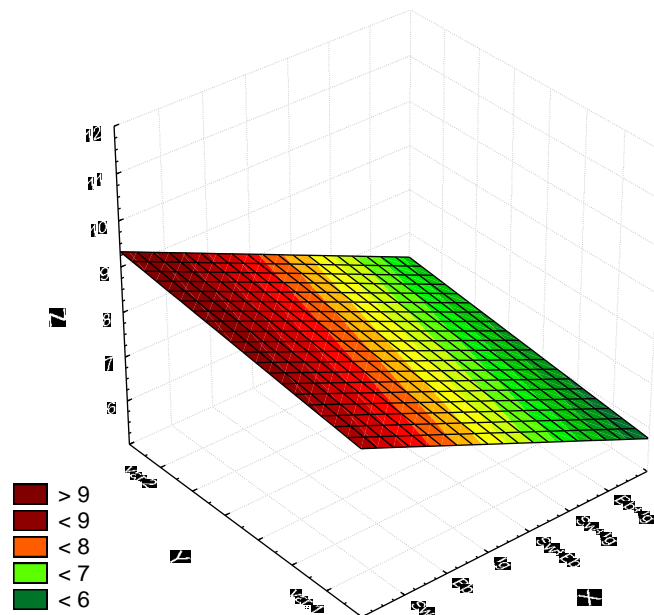


Рис. Б.11. Тримірна модель впливу способу вирощування енергетичних культур і застосування підживлення на врожайність біомаси енергетичних культур, 2 вегетаційний рік

Графіки залежностей

$$Z = 7,9729 - 0,3014 \cdot x + 0,325 \cdot y$$

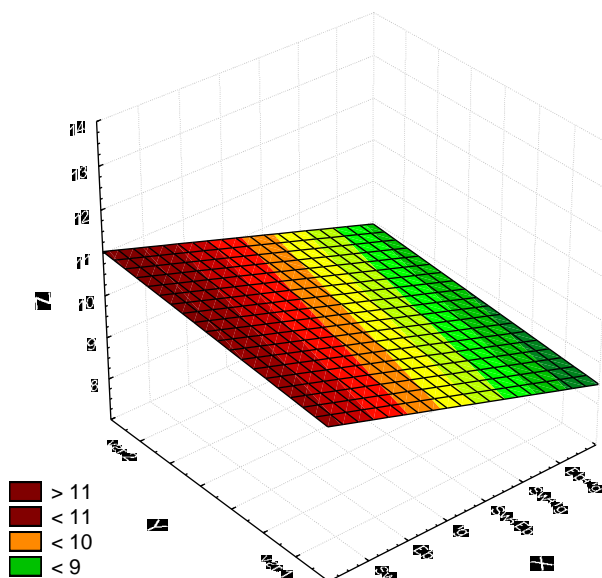


Рис. Б.12. Тримірна модель впливу способу вирощування енергетичних культур і застосування підживлення на врожайність біомаси енергетичних культур, 3 вегетаційний рік

$$Z = 19,3673 - 0,3468 \cdot x + 0,2708 \cdot y$$

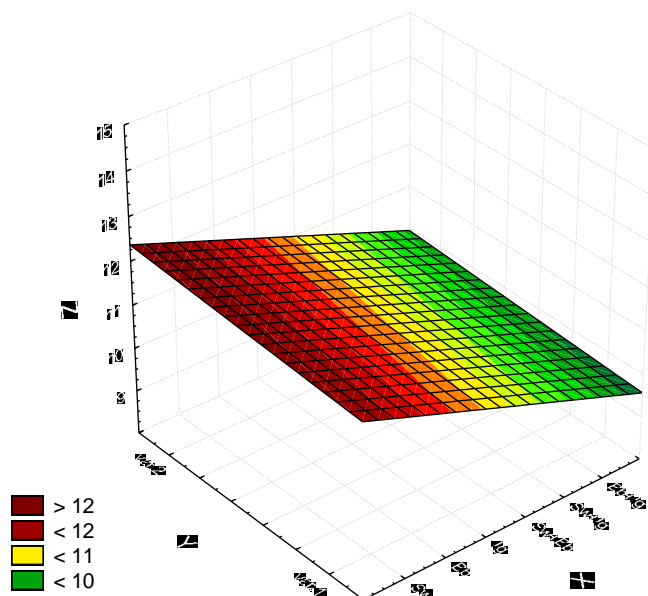


Рис. Б.13. Тримірна модель впливу способу вирощування енергетичних культур і застосування підживлення на врожайність біомаси енергетичних культур, 4 вегетаційний рік

Графіки залежностей

Mean Plot of Урожай grouped by Рік; categorized by Спосіб and Варіант
Spreadsheet19 4v*192c

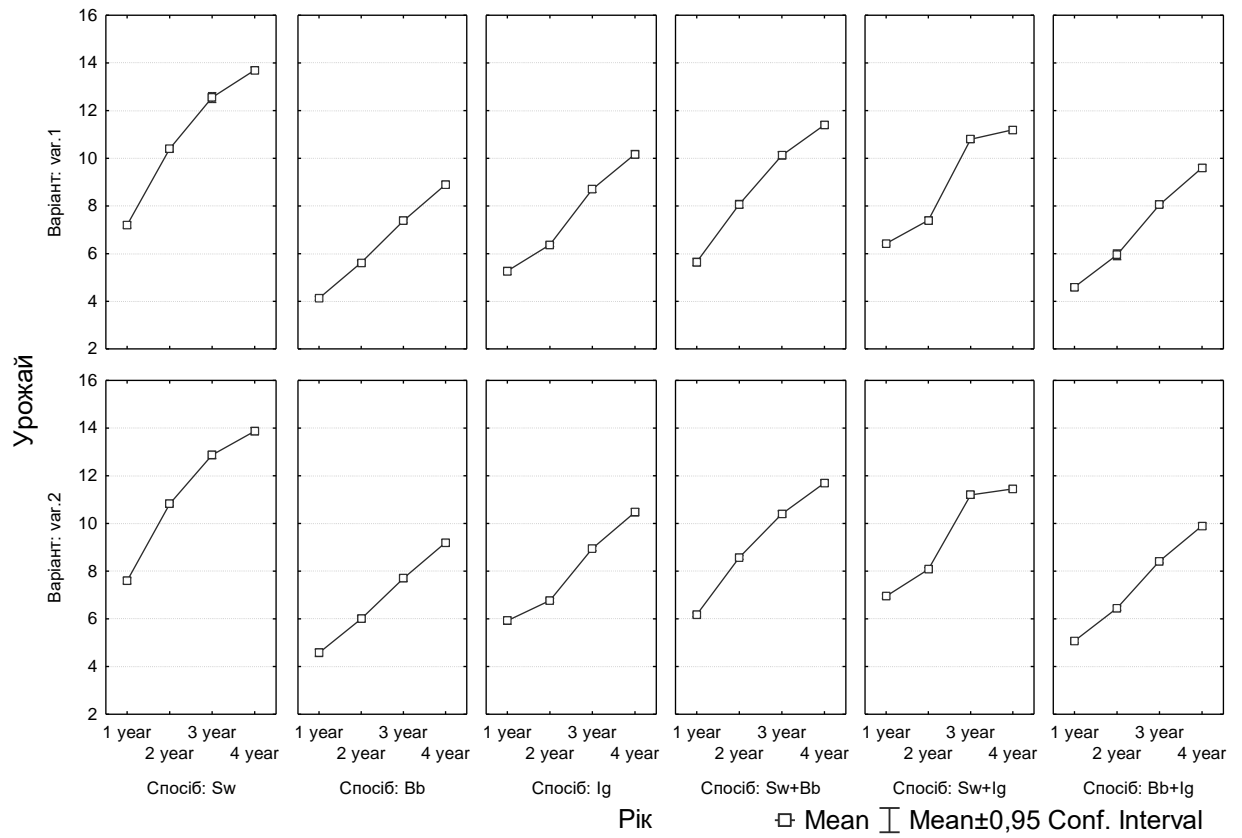


Рис. Б.14. Залежності врожайності біомаси за вегетаційними періодами у різновидових посівах енергетичних культур (без підживлення і з підживленням посівів)

Графіки залежностей

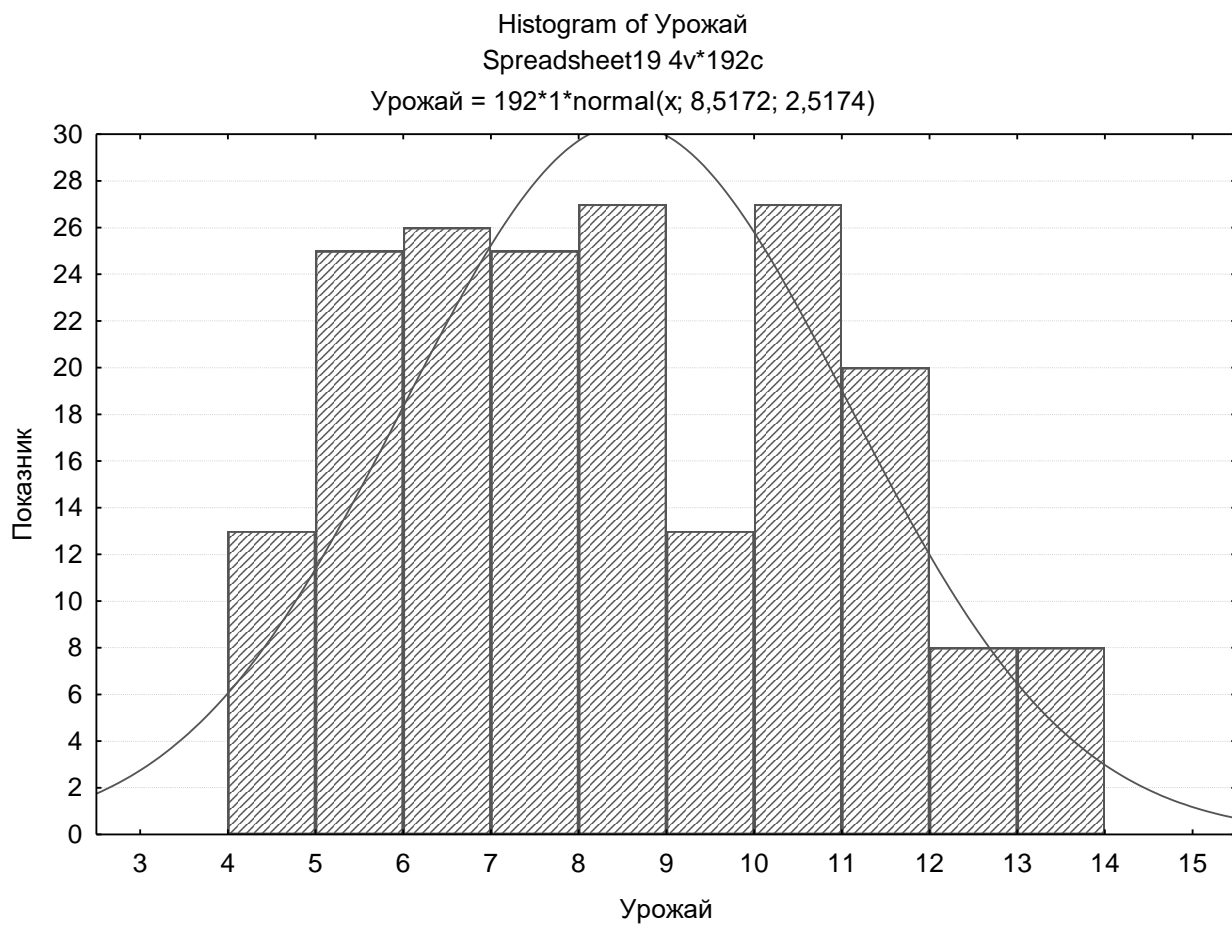


Рис. Б.15. Графік нормального розподілу врожайності біомаси у різновидових посівах енергетичних культур (без підживлення і підживлення посівів)

Додаток В

Математично-статистичний обрахунок врожайності сорго багаторічного залежно від умов вирощування, 2018-2023 рр.

Урожайність сорго багаторічного в умовах Лісостепу залежно від застосування препарату, 1 рік вегетації

Сорт (Factor A)	Застосування препарату (Factor B)	Повторення			Середнє
		I	II	III	
Коломбо	варіант 1 (контр.)	7,9	7,7	7,8	7,8
	варіант 2	8,1	8,4	8,2	8,2
	варіант 3	9,8	9,5	9,7	9,7
	варіант 4	10,9	10,6	10,8	10,8
Парана	варіант 1 (контр.)	8,9	8,6	8,7	8,7
	варіант 2	8,7	8,9	9	8,9
	варіант 3	9,4	9,6	9,4	9,5
	варіант 4	9,5	9,7	9,7	9,6
Середнє		9,2	9,1	9,2	9,1

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var3 (Spreadsheet62) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	2007,510	1	2007,510	104739,7	0,000000
"Var1"	0,020	1	0,020	1,1	0,317378
"Var2"	14,498	3	4,833	252,1	0,000000
"Var1"*"Var2"	3,875	3	1,292	67,4	0,000000
Error	0,307	16	0,019		

НІР₀₅ (фактор А) 0,78

НІР₀₅ (фактор В) 0,55

НІР₀₅ (фактор А і В) 0,23

Графіки залежностей

$$\text{Var3} = -66,6458 + 0,0583 \cdot x + 0,6817 \cdot y$$

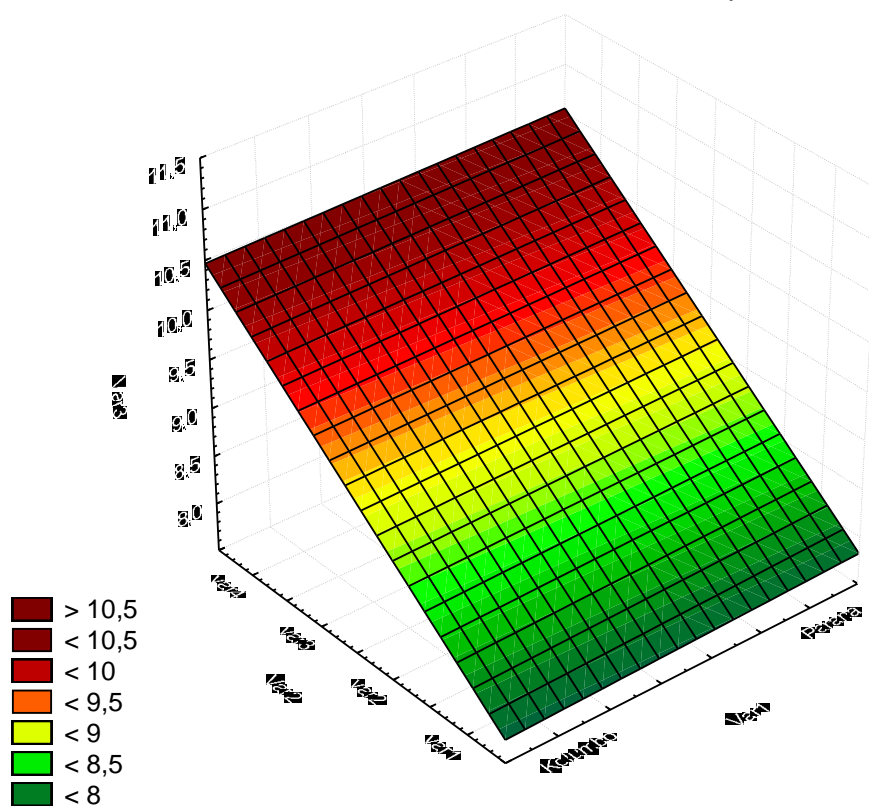


Рис. В.1. Тримірна модель впливу умов вирощування на врожайність сорго багаторічного залежно від сорту та застосування препарату, 1 вегетаційний рік

Урожайність сорго багаторічного в умовах Лісостепу залежно від застосування препарату, 2 рік вегетації

Сорт (Factor A)	Застосування препарату (Factor B)	Повторення			Середнє
		I	II	III	
Коломбо	варіант 1 (контр.)	11,9	11,5	11,8	11,7
	варіант 2	12,0	11,9	12,4	12,1
	варіант 3	12,2	12,3	12,1	12,2
	варіант 4	12,0	12,6	12,4	12,3
Парана	варіант 1 (контр.)	9,8	10,1	10,3	10,0
	варіант 2	10,3	10,3	10,5	10,4
	варіант 3	10,4	10,8	10,7	10,6
	варіант 4	11,1	10,8	10,6	10,9
Середнє		11,2	11,3	11,4	11,3

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var3 (Spreadsheet62) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	3055,527	1	3055,527	61110,53	0,000000
"Var1"	15,682	1	15,682	313,63	0,000000
"Var2"	1,543	3	0,514	10,29	0,000514
"Var1"*"Var2"	0,048	3	0,016	0,32	0,809227
Error	0,800	16	0,050		

$НІР_{05}$ (фактор А) 0,28

$НІР_{05}$ (фактор В) 1,09

$НІР_{05}$ (фактор А і В) 0,38

Графіки залежностей

$$\text{Var3} = 152,4833 - 1,6167 \cdot x + 0,2233 \cdot y$$

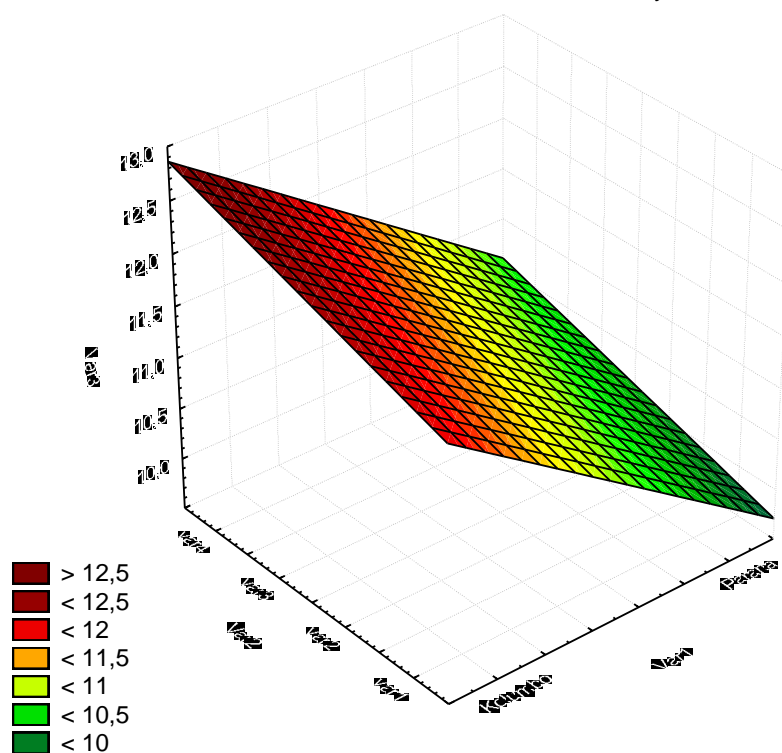


Рис. В.2. Тримірна модель впливу умов вирощування на врожайність сорго багаторічного залежно від сорту та застосування препарату, 2 вегетаційний рік

Урожайність сорго багаторічного умовах Лісостепу залежно від застосування препарату, 3 рік вегетації

Сорт (Factor A)	Застосування препарату (Factor B)	Повторення			Середнє
		I	II	III	
Коломбо	варіант 1 (контр.)	11,9	11,8	12,4	12,0
	варіант 2	12,1	12,5	12,2	12,2
	варіант 3	12,4	12,6	12,8	12,6
	варіант 4	12,8	12,5	12,9	12,7
Парана	варіант 1 (контр.)	10,1	10,4	10,2	10,2
	варіант 2	10,3	10,4	10,7	10,5
	варіант 3	10,8	11,1	10,7	10,9
	варіант 4	11,4	10,9	11,3	11,2
Середнє		11,5	11,5	11,7	11,6

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var3 (Spreadsheet62) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	3201,660	1	3201,660	62471,41	0,000000
"Var1"	17,682	1	17,682	345,01	0,000000
"Var2"	2,487	3	0,829	16,17	0,000042
"Var1"*"Var2"	0,072	3	0,024	0,47	0,709958
Error	0,820	16	0,051		

$НІР_{05}$ (фактор А) 0,33

$НІР_{05}$ (фактор В) 1,16

$НІР_{05}$ (фактор А і В) 0,39

Графіки залежностей

$$\text{Var3} = 156,4083 - 1,7167 \cdot x + 0,2867 \cdot y$$

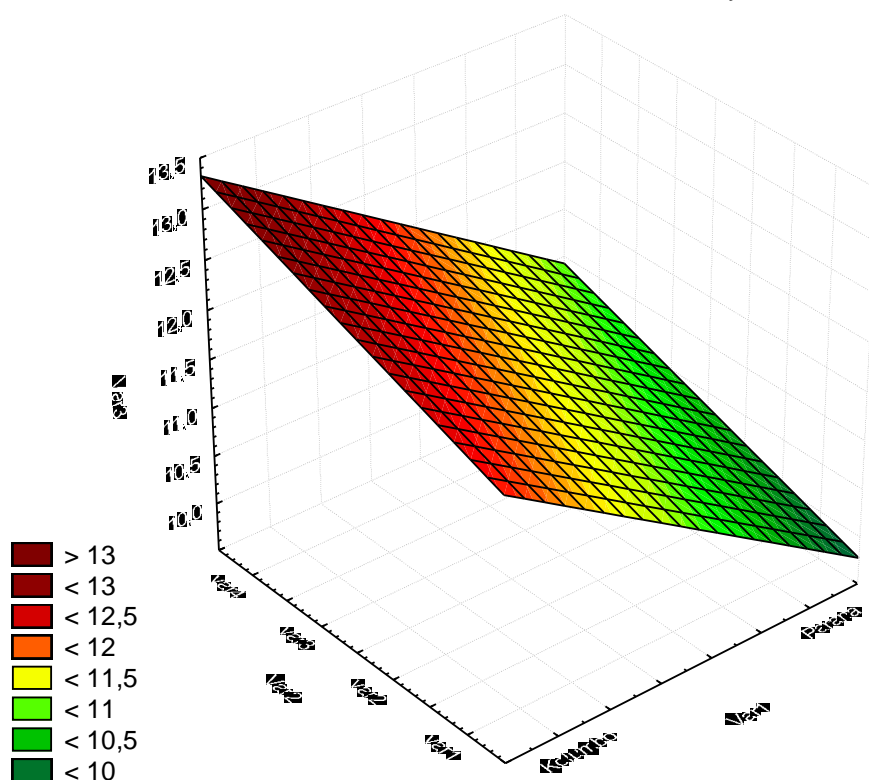


Рис. В.3. Тримірна модель впливу умов вирощування на врожайність сорго багаторічного залежно від сорту та застосування препарату, 3 вегетаційний рік

Урожайність сорго багаторічного в умовах Лісостепу залежно від застосування препарату, 4 рік вегетації

Сорт (Factor A)	Застосування препарату (Factor B)	Повторення			Середнє
		I	II	III	
Коломбо	варіант 1 (контр.)	11,2	11,6	11,3	11,4
	варіант 2	12,4	12,0	11,9	12,1
	варіант 3	12,5	12,4	12,5	12,5
	варіант 4	12,6	12,9	12,4	12,6
Парана	варіант 1 (контр.)	10,0	10,2	10,2	10,1
	варіант 2	10,4	10,4	10,5	10,4
	варіант 3	10,8	10,6	11	10,8
	варіант 4	11,2	11,2	10,8	11,1
Середнє		11,4	11,4	11,3	11,4

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var3 (Spreadsheet62) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	3105,375	1	3105,375	85665,52	0,000000
"Var1"	14,107	1	14,107	389,15	0,000000
"Var2"	4,168	3	1,389	38,33	0,000000
"Var1"*"Var2"	0,190	3	0,063	1,75	0,197738
Error	0,580	16	0,036		

$НІР_{05}$ (фактор А) 0,40

$НІР_{05}$ (фактор В) 1,04

$НІР_{05}$ (фактор А і В) 0,33

Графіки залежностей

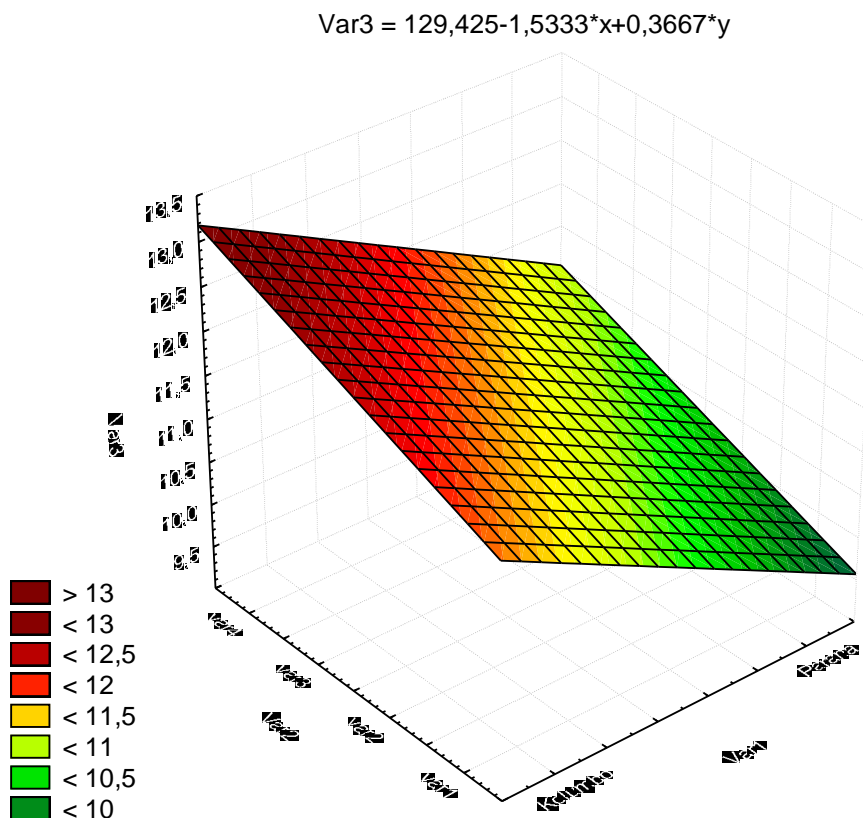


Рис. В.4. Тримірна модель впливу умов вирощування на врожайність сорго багаторічного залежно від сорту та застосування препарату, 4 вегетаційний рік

Урожайність сорго багаторічного в умовах Лісостепу залежно від застосування препарату, за 4 роки вегетації

Сорт (Factor B)	Застосування препарату (Factor C)	Рік вегетації Factor A				Середнє	Сума
		1-й	2-й	3-й	4-й		
Коломбо	варіант 1 (контр.)	7,8	11,7	12	11,4	10,7	39
	варіант 2	8,2	12,1	12,2	12,1	11,2	40,2
	варіант 3	9,7	12,2	12,6	12,5	11,8	41,8
	варіант 4	10,8	12,3	12,7	12,6	12,1	42,8
Парана	варіант 1 (контр.)	8,7	10	10,2	10,1	9,8	42,9
	варіант 2	8,9	10,4	10,5	10,4	10,1	44,6
	варіант 3	9,5	10,6	10,9	10,8	10,5	47
	варіант 4	9,6	10,9	11,2	11,1	10,7	48,4
Середнє		9,2	10,5	10,7	10,6		
Сума							

Таблиця дисперсій

Univariate Tests of Significance for Var4 (Spreadsheet79) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	11277,50	1	11277,50	287936,2	0,000000
"Var1"	92,57	3	30,86	787,8	0,000000
"Var2"	34,68	1	34,68	885,4	0,000000
"Var3"	18,34	3	6,11	156,0	0,000000
"Var1"*"Var2"	12,81	3	4,27	109,0	0,000000
"Var1"*"Var3"	4,36	9	0,48	12,4	0,000000
"Var2"*"Var3"	0,80	3	0,27	6,8	0,000479
"Var1"*"Var2"*"Var3"	3,39	9	0,38	9,6	0,000000
Error	2,51	64	0,04		

HP_{05} (фактор А) 0,52
 HP_{05} (фактор В) 0,48
 HP_{05} (фактор С) 0,73
 HP_{05} (фактор А, В) 0,46
 HP_{05} (фактор В, С) 0,93
 HP_{05} (фактор А,С) 0,95
 HP_{05} (фактор А, В, С) 0,34

Графіки залежностей

$$\text{Var4} = 61,5698 + 0,6954 * x - 1,2021 * y$$

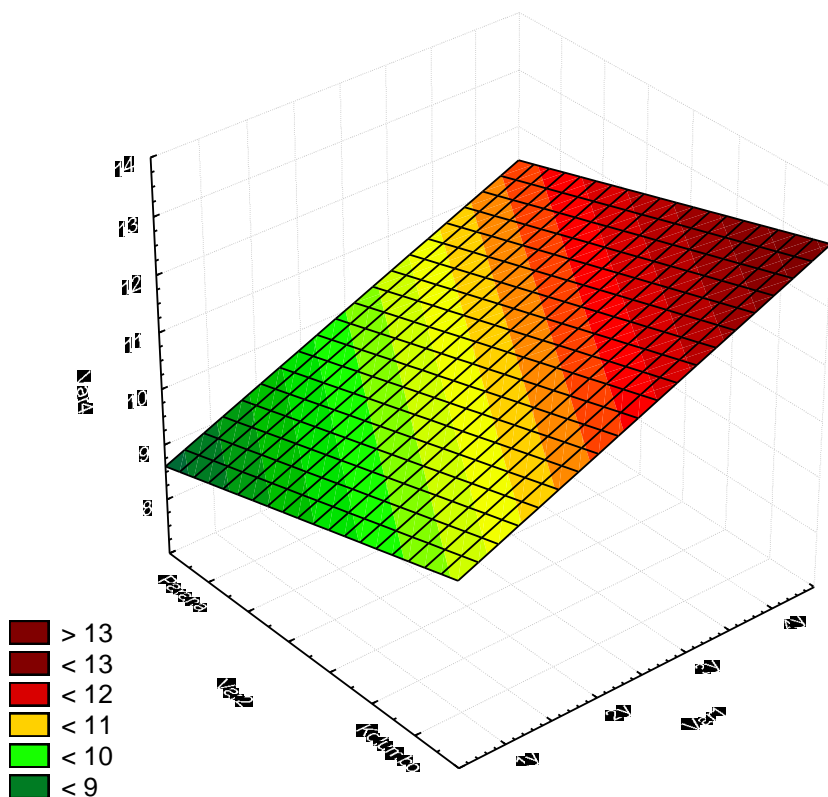


Рис. В.5. Тримірна модель впливу сорту на врожайність сорго багаторічного, за чотири вегетаційні роки

Графіки залежностей

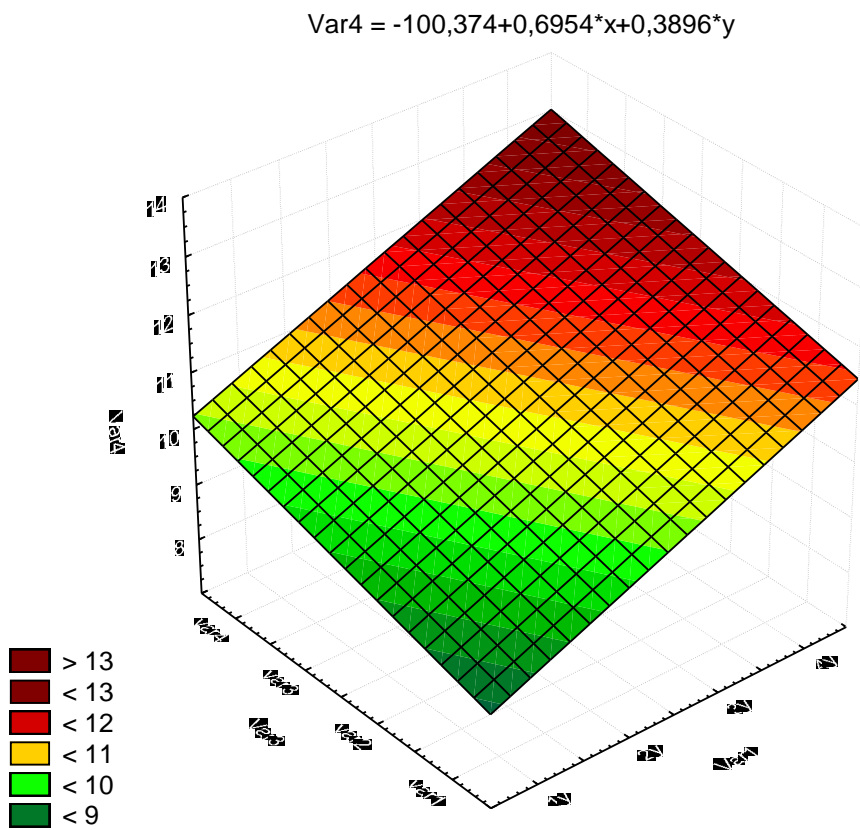


Рис.В.6. Тримірна модель впливу застосування препарату на врожайність сорго багаторічного, за чотири вегетаційні роки

Графіки залежностей

$$\text{Var4} = 92,9177 - 1,2021 \cdot x + 0,3896 \cdot y$$

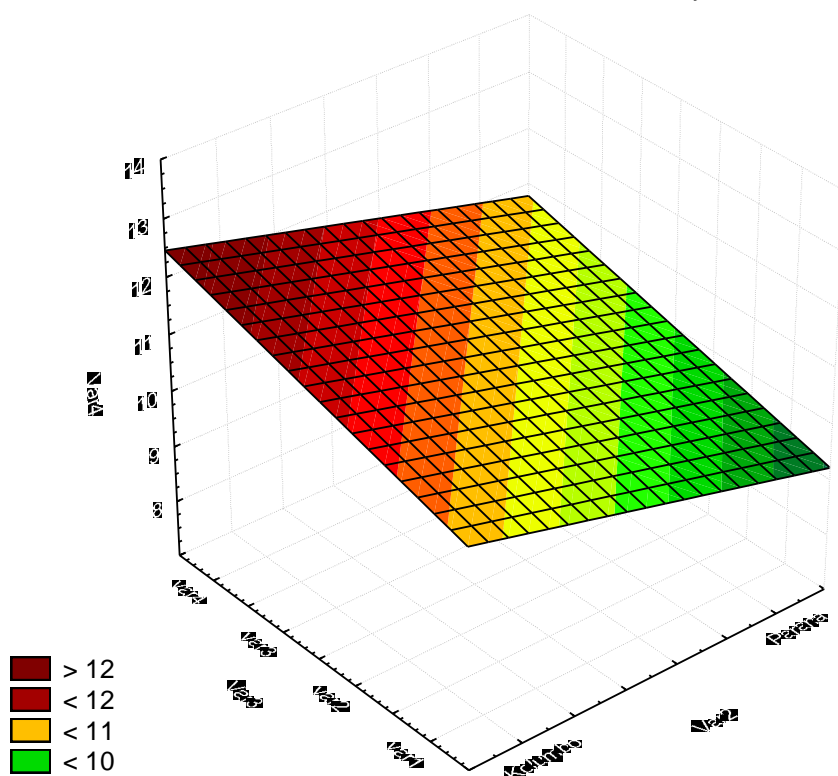


Рис. В.7. Тримірна модель впливу сорту та застосування препарату на врожайність сорго багаторічного, за чотири вегетаційні роки

Акти та довідки впровадження, патент

Додаток Д1. Довідка впровадження в навчальний процес ПДАУ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003, тел./факс: (0532) 50-02-73,
E-mail: pdau@pdau.edu.ua <https://www.pdau.edu.ua> Код ЄДРПОУ 00493014

16.11.23 № 811-01-178/н На № _____ від _____

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з науково-педагогічної,
наукової роботи Полтавського
державного аграрного університету,
кандидат с.-г. наук, доцент

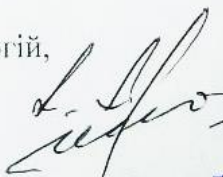

Олег ГОРБ
«16» листопада 2023р.

ДОВІДКА


про впровадження результатів наукових досліджень
здобувача освітньо-наукового ступеня доктора філософії
Дьоміна Дмитра Геннадійовича на тему:
«Агроекологічне обґрунтування вирощування енергетичних культур
для виробництва біосировини» галузі знань 20 «Аграрні науки та
продовольство» за спеціальністю 201° «Агрономія»

Матеріали дослідження Дьоміна Д. Г. щодо вивчення морфо-біологічних особливостей енергетичних культур та використання їх біосировини використовуються в навчальному процесі Полтавського державного аграрного університету при викладанні навчальних дисциплін «Енергетичні культури» та «Рослинний енергетичний ресурс» на кафедрі селекції, насінництва і генетики навчально-наукового інституту агротехнологій, селекції та екології.

Директор ННІ агротехнологій,
селекції та екології


Микола МАРЕНИЧ

Завідувач кафедри селекції,
насінництва і генетики


Володимир ТИЩЕНКО

Додаток Д2. Довідка впровадження в навчальний процес ІБКіЦБ

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Заступник директора з наукової роботи
Інституту біоенергетичних культур і
цукрових буряків НААН




Віктор СІНЧЕНКО
2024 р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів наукових досліджень здобувача освітньо-наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201⁰ «Агроніомія» галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство» Дьоміна Дмитра Геннадійовича на тему: «Агроскологічне обґрунтування вирощування енергетичних культур для виробництва біосировини»

Матеріали дослідження Дьоміна Д. Г. щодо встановлення закономірностей формування продуктивності та морфологічних особливостей енергетичних культур використовуються в навчальному процесі Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН під час викладання вибіркової навчальної дисципліни «Наукові основи вирощування рослин для переробляння на біоенергетичні цілі» для здобувачів освітньо-наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 201⁰ «Агроніомія» галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство».

Гарант освітньо-наукової програми
201 «Агроніомія»


Володимир ДОРОНІН

Завідувач відділу селекції і сільськогосподарських технологій вирощування та переробляння біоенергетичних культур


Олександр ГАНЖЕНКО

**Додаток Д3. Акт впровадження результатів досліджень у виробництво
(сумісні посіви енергокультур)**



ПОГОДЖЕНО
Ректор ПДАУ

О.А. Галич

«17» листопада 2023 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з науково-педагогічної
роботи

О.О. Горб

«17» листопада 2023 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів науково-дослідних робіт у виробництво

Цим актом підтверджується, що результати роботи згідно дисертаційної роботи на тему «АГРОЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОСИРОВИНИ» за спеціальністю 201 – Агрономія, виконаної в Полтавському державному аграрному університеті аспірантом Дьоміним Д.Г., яка здійснювалася на протязі 2018-2023 рр., впроваджені в умовах Товариства з обмеженою відповідальністю «Інноваційні Екотехнології України» (надалі – ТОВ «ІнЕкоТех України»).

Вид впроваджених результатів: отримана якісні сировина – біомаса енергетичних культур з рекультивованої ділянки полігону ТБО, в умовах Степовій кліматичній зоні на деградаційних ґрунтах.

Рік та обсяг впровадження: 2022-2023 роки, площа 1,6 га.

Отриманий економічний ефект від впровадження: валовий прибуток від реалізації біомаси становив 6533,7 грн/га, рівень рентабельності склав 90,2 %.



Від ПДАУ
Ректор

О.А. Галич

Виконавець

Д.Г. Дьомін

ТОВ «ІнЕкоТех України»
Генеральний директор

О.О. Беспалов

«17» листопада 2023 р.

**Додаток Д4. Акт впровадження результатів досліджень у виробництво
(сорго багаторічне)**

ПОГОДЖЕНО
Ректор ПДАУ
О.А. Галич
«12» листопада 2023 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор науково-педагогічної
Ради ПДАУ
О.О. Горб
«12» листопада 2023 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів науково-дослідних робіт у виробництво

Цим актом підтверджується, що результати роботи згідно дисертаційної роботи на тему «Агроекологічне обґрунтування вирощування енергетичних культур для виробництва біосировини» за спеціальністю 201 – Агрономія, виконаної в Полтавському державному аграрному університеті здобувачем ступеня доктора філософії Д. Г. Дьоміним, що здійснювалася на протязі 2018-2023 рр., впроваджені в умовах Товариства з обмеженою відповідальністю «Інноваційні Екотехнології України».

Вид впроваджених результатів: отримана енергоємна сировина (219,6 ГДж/га) біомаси сорго багаторічного з урахуванням удосконалення елементів технології вирощування культури, що запропонована здобувачем.

Рік та обсяг впровадження: 2022-2023 роки, площа 1,0 га.

Отриманий економічний ефект від впровадження: реалізація біомаси сорго багаторічного сорту Колумбо в середньому дозволяє досягти прибутку на рівні 4239,5 грн/га та рівня рентабельності 64,4 %.

Від ПДАУ
Ректор
О.А. Галич
Виконавець
Д.Г. Дьомін

ТОВ «ІнЕкоТех України»
Генеральний директор
О.О. Беспалов
«12» листопада 2023 р.

Додаток Д6. Патент на корисну модель

