

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

СУХІНА ДЕНИС ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК: 631.559:631.811.98:633.174

**ДИСЕРТАЦІЯ
ПРОДУКТИВНІСТЬ ГІБРИДІВ СОРГО ЗЕРНОВОГО
ЗАЛЕЖНО ВІД ГУСТОТИ СТОЯННЯ РОСЛИН ТА
РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ**

201 – Агрономія
(20 «Аграрні науки та продовольство»)

Подається на здобуття освітньо-наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 201 «Агрономія»

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

_____ Д. В. Сухіна

Науковий керівник:
Новицька Наталія Валеріївна,
доктор сільськогосподарських наук, професор

Київ – 2025

АНОТАЦІЯ

Сухіна Д.В. Продуктивність гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин та регуляторів росту. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 «Агрономія» (20 – Аграрні науки та продовольство). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2025.

У дисертаційній роботі наведено теоретичне обґрунтування та результати експериментальних досліджень з визначення оптимальної густоти рослин сорго зернового та вивчення впливу застосування регулятору росту «Аппетайзер» на ріст, розвиток та формування врожаю гібридів сорго різних груп стиглості Калатур, ЕС Алізе, ЕС Фоен, Албанус та ЕС Муссон в посушливих умовах Північного Степу України. Визначено, як впливають досліджувані агротехнічні прийоми на біометричні, структурно-морфологічні показники культури. Проведено аналіз економічної та біоенергетичної ефективності запропонованих технологічних моделей вирощування сорго зернового, удосконалено технологію його вирощування на основі оптимізації площі живлення рослин та активізації фізіологічних процесів за допомогою регулятору росту.

Проведено огляд та узагальнення наукової літератури вітчизняних та зарубіжних авторів щодо перспектив вирощування сорго зернового в Україні та світі, впливу генетичних особливостей гібридів, густоти рослин та застосування регуляторів росту на формування рівня зернової продуктивності та якості врожаю. Визначено, що все ще недостатньо вивчено реакцію сучасних гібридів сорго зернового на зміну просторового та кількісного розміщення рослин в конкретному регіоні вирощування, що є актуальною виробничою проблемою та потребує наукового вирішення.

Тривалість вегетаційного періоду сорго зернового насамперед залежала від генотипу, а також від погодних умов, густоти стояння рослин та

застосування регулятору росту. За густоти 170 тис.шт./га спостерігалася найдовша тривалість вегетаційного періоду у всіх гібридів, а застосування регулятору росту забезпечило подовження вегетаційного періоду на 2-4%. За густоти 200 тис.шт./га тривалість вегетаційного періоду гібридів сорго зернового скоротилася на 2% на контрольних варіантах, проте перебільшило значення порівняно з варіантами з меншою густотою рослин. Збільшення густоти рослин до 230 тис.шт./га суттєво вплинуло на тривалість вегетаційного періоду, скоротивши її на 3% порівняно зі значеннями за густоти рослин 170 тис.шт./га. Значення тривалості вегетаційного періоду у ранньостиглого гібриду Албанус коливалося в межах 96-101 доби, у середньо-ранніх гібридів Калатур, ЕС Фоен та ЕС Муссон – від 96 до 112 діб; у пізньостиглого гібриду ЕС Алізе – від 113 до 118 діб. Застосування регулятора росту сприяє збільшенню тривалості періоду вегетації гібридів сорго зернового на 2-4 дні.

Біометричні показники рослин сорго зернового, а саме висота рослин, коефіцієнт кущення та площа асиміляційного апарату протягом періоду вегетації, характеризуються різними тенденціями залежно від досліджуваних факторів: головним чином відмінність спостерігається за впливу густоти рослин – з її збільшенням значення висоти рослин поступово зменшується, тоді як інші показники мають спочатку зростаючий характер від ГСР 170 тис.шт./га до 200 тис.шт./га, а потім поступовий спад за всіма варіантами гібридів за густоти рослин 230 тис.шт./га.

За результатами досліджень, в період настання у рослин фази виходу в трубку найбільша площа листової поверхні зафіксована у варіантах гібридів сорго зернового ЕС Фоен (14,2 тис. м²/га), ЕС Алізе (14,1 тис. м²/га) та Калатур (14,0 тис. м²/га) за густоти стояння рослин 200 тис.шт./га та застосування РРР «Аппетайзер», поруч з яким результати варіантів контролю досліджуваних гібридів мали суттєву різницю (13,2-13,5 тис. м²/га).

В період настання у рослин фази викидання волоті найбільша площа асиміляційного апарату зафіксована у варіантах гібридів сорго зернового ЕС

Алізе (24,8 тис. м²/га), ЕС Фоен (24,3 тис. м²/га) та Калатур (23,8 тис. м²/га) за густоти стояння рослин 200 тис.шт./га та 230 тис.шт./га при застосуванні РРР «Аппетайзер».

У фазу цвітіння найбільша площа листкової поверхні зафіксована у варіантах гібридів сорго зернового ЕС Алізе (30,5 тис. м²/га), ЕС Фоен (29,9 тис. м²/га) та Калатур (29,3-29,4 тис. м²/га) за густоти стояння рослин 200 та 230 тис.шт./га зі застосуванням РРР «Аппетайзер».

До фази воскової стиглості зерна на всіх варіантах загальна площа листків знижувалася, проте на ділянках з густотою стояння рослин 230 тис.шт./га зафіксоване більш динамічне зменшення площі листкової поверхні усіх досліджуваних гібридів – на 8% більше порівняно з іншими варіантами. Найбільший показник був зафіксований у варіанті гібриду ЕС Алізе (21,1 тис.шт./га) за густоти стояння рослин 200 тис.шт./га при застосуванні РРР «Аппетайзер».

Максимальні значення біометричних показників відмічені за варіантами середньо-ранніх гібридів Калатур та ЕС Фоен, а також ЕС Алізе пізньої групи стиглості. Застосування регулятора росту «Аппетайзер» забезпечує збільшення висоти рослин на 2-6 см, площі листкової поверхні – на 1-6%, а коефіцієнта кущення – на 14-38% на всіх варіантах гібридів залежно від густоти рослин.

Структурні показники пробного снопу, а саме: довжина волоті, маса зерна у волоті, маса 1000 зерен залежать від генотипу та густоти рослин. Найвищі показники маси 1000 зерен зафіксовані у середньо-ранніх гібридів Калатур (32,1 г), ЕС Фоен (32,8 г) та ЕС Муссон (30,1 г) за густоти стояння рослин 200 тис.шт./га із застосуванням регулятора росту. Результати трирічних даних свідчать про те, що густота рослин 200 тис.шт./га є оптимальною для досліджуваних гібридів, а сам фактор є ключовим елементом технології вирощування сорго зернового, оскільки формує площу живлення, що є фундаментальною для біометричних та структурно-морфологічних показників рослин.

Протягом періоду досліджень максимальною урожайністю зерна характеризувалися середньо-ранні гібриди сорго зернового Калатур (4,56-4,86 т/га), ЕС Фоен (4,58-4,87 т/га) та ЕС Муссон (4,53-4,82 т/га) за густоти рослин 200 тис.шт./га на всіх варіантах. Найбільший вплив на формування зернової продуктивності сорго у дослідженнях мав фактор густоти стояння рослин. За всіма варіантами гібридів за густоти рослин 200 тис.шт./га, урожайність була вищою порівняно з варіантами з густотою 170 тис.шт./га у середньому на 1,06 т/га (32%). Подальше загущення призводить до зменшення урожайності порівняно з варіантами густоти 200 тис.шт./га у середньому на 0,43 т/га. За показником вмісту білку лідерами в досліді визнані середньо-ранній гібрид ЕС Фоен (вміст білку 11,9-12,3%), а також ранньостиглий гібрид Албанус (11,6-12,1%); за вмістом крохмалю – середньо-ранні гібриди Калатур (66,3-72,2%), ЕС Фоен (66,5-72,6%) та ЕС Муссон (71,8-74,0%); а найвищу натуру зерна мав гібрид ЕС Фоен (755-778 г/л). Найбільші показники були зафіксовані за густоти рослин 170 тис.шт./га із застосуванням регулятора росту.

Вміст білку у зерна за роки проведення досліджень коливався у межах 10,4-12,9%, маючи суттєву різницю між гібридами, а також між варіантами контролю та із застосуванням РРР. Серед дослідних варіантів найбільший вміст білка у зерні був у гібриду ЕС Фоен за густоти стояння рослин 170 та 200 тис.шт./га із застосуванням регулятору росту рослин – 11,4-12,9% та 11,4-12,7% відповідно.

Динаміка вмісту крохмалю у зерні сорго була обернено-пропорційною до загущення посівів: найбільший вміст крохмалю у середньому за роки дослідження зафіксовано у гібриду ЕС Муссон за густоти рослин 170 тис.шт./га із застосуванням РРР – 74,0%, за таких самих умов у гібриду ЕС Фоен – 72,6%, та у гібриду Калатур – 72,2%.

Натура зерна мала тенденцію до зниження зі збільшенням густоти рослин: у середньому за роки досліджень за густоти рослин 170 тис.шт./га на варіантах контролю натура зерна становила у гібриду Калатур – 628 г/л, ЕС Алізе – 697 г/л, у ЕС Фоен – 767 г/л, у Албанус – 637 г/л, у ЕС Муссон – 700

г/л. Застосування РРР забезпечило зростання натури на 1-2% залежно від гібриду.

Результати математичного моделювання впливу елементів технології вирощування на формування урожайності сорго зернового свідчать, що найвищими адаптивними можливостями в умовах Північного Степу характеризуються середньо-ранні гібриди Калатур, ЕС Фоен та ЕС Муссон за густоти рослин 200 тис.шт./га із застосуванням РРР. За показниками рентабельності усі гібриди досягли максимуму за густоти рослин 200 тис.шт./га як на контролі, так і з застосуванням регулятора росту (+5,5-9,3% рентабельності). Так, найбільша рентабельність була зафіксована на варіантах гібридів Калатур (66,2%), ЕС Фоен (64,2%) та ЕС Муссон (63,4%) при густоті стояння рослин 200 тис.шт./га із застосуванням РРР.

Коефіцієнт енергетичної ефективності коливався від 13,38 до 14,95 для усіх досліджуваних варіантів без застосування РРР та, відповідно, від 14,33 до 15,78 для варіантів із застосуванням РРР. Збільшення густоти стояння рослин призвело до зниження використання посівами ФАР та коефіцієнта енергетичної ефективності. Найвищі показники біоенергетичної оцінки були зафіксовані на середньо-ранніх гібридах Калатур ($K_{ee} = 15,78$), ЕС Фоен ($K_{ee} = 15,77$) та ЕС Муссон ($K_{ee} = 15,74$) на варіантах з густотою рослин 200 тис.шт./га із застосуванням регулятора росту «Аппетайзер».

Ключові слова: сорго зернове, гібриди, густота рослин, регулятор росту, урожайність, якість зерна, економічна ефективність, біоенергетична ефективність технології вирощування.

SUMMARY

***Sukhina D.V. Productivity of grain sorghum hybrids depending on plant quantity and growth regulators using.* – Manuscript.**

Dissertation for obtaining the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 201 «Agronomy» (20 – Agricultural Sciences and Food). National university of life and environmental sciences of Ukraine. Kyiv, 2025.

The theoretical justification and experimental research results are presented in the dissertation regarding the determination of the optimal plant quantity of grain sorghum and the influence of the growth regulator Appetizer on growth, development, and yield formation of hybrids of different maturity groups—Kalatur, ES Alize, ES Foen, Albanus, and ES Musson—under the arid conditions of the Northern Steppe of Ukraine. The study identifies how the investigated agrotechnical practices affect the biometric and structural–morphological traits of the crop. An economic and bioenergetic efficiency analysis of the proposed technological models of grain sorghum cultivation was carried out, and the cultivation technology was improved based on optimizing plant nutrition area and stimulating physiological processes through the application of a growth regulator.

A review and generalization of scientific literature by domestic and international authors was conducted regarding the prospects of grain sorghum cultivation in Ukraine and worldwide, as well as the influence of genetic characteristics of hybrids, plant quantity, and the use of growth regulators on grain productivity and yield quality. It was established that the response of modern grain sorghum hybrids to changes in plant spatial and quantitative arrangement in specific growing regions remains insufficiently studied, representing a relevant production problem that requires scientific solutions.

The duration of the vegetation period of grain sorghum depended primarily on genotype, as well as weather conditions, plant quantity, and the use of the growth regulator. At a quantity of 170,000 plants/ha, all hybrids demonstrated the longest vegetation period, while the application of the growth regulator extended it by 2–

4%. At 200,000 plants/ha, the vegetation period decreased by about 2% in control treatments, but remained longer than under lower plant densities. Increasing quantity to 230,000 plants/ha significantly reduced the vegetation period, shortening it by 3% compared to the 170,000 plants/ha treatments. The vegetation period of the early-maturing hybrid Albanus ranged from 96 to 101 days, while for medium-early hybrids Kalatur, ES Foen, and ES Musson it ranged from 96 to 112 days. The late-maturing hybrid ES Alize showed a duration of 113–118 days. Application of the growth regulator prolonged the vegetation period of hybrids by 2–4 days.

Biometric traits of grain sorghum, including plant height, tillering coefficient, and leaf surface area, displayed different dynamics depending on the studied factors. The main variation was observed under the influence of plant quantity: with increasing quantity, plant height decreased, while other indicators showed a rising trend from 170,000 to 200,000 plants/ha, followed by a decline at 230,000 plants/ha across all hybrids.

According to the research results, during the stem-elongation stage the largest leaf area was recorded in the grain sorghum hybrids ES Foen (14.2 thousand m²/ha), ES Alize (14.1 thousand m²/ha), and Kalatur (14.0 thousand m²/ha) under a plant density of 200 thousand plants/ha and the application of the plant growth regulator “Appetizer”. In contrast, the control variants of these hybrids showed significantly lower values (13.2–13.5 thousand m²/ha).

At the panicle-emergence stage, the greatest assimilation surface area was observed in the hybrids ES Alize (24.8 thousand m²/ha), ES Foen (24.3 thousand m²/ha), and Kalatur (23.8 thousand m²/ha) at plant densities of 200 and 230 thousand plants/ha with the use of “Appetizer”.

During flowering, the largest leaf area was again recorded in ES Alize (30.5 thousand m²/ha), ES Foen (29.9 thousand m²/ha), and Kalatur (29.3–29.4 thousand m²/ha) at plant densities of 200 and 230 thousand plants/ha under the application of the growth regulator.

By the wax ripeness stage, total leaf area had decreased across all variants; however, at the higher density of 230 thousand plants/ha, the reduction was more

pronounced—by 8% compared with other treatments. The highest value at this stage was recorded for ES Alize (21.1 thousand m²/ha) at a plant density of 200 thousand plants/ha with the application of “Appetizer”.

Maximum biometric values were recorded for the medium-early hybrids Kalatur and ES Foen, as well as the late hybrid ES Alize. Application of the Appetizer growth regulator increased plant height by 2–6 cm, leaf area by 1–6%, and tillering coefficient by 14–38%, depending on the hybrid and plant quantity.

Structural traits of the test sheaf, namely panicle length, grain weight per panicle, and 1,000-grain weight, depended on genotype and plant quantity. The highest 1,000-grain weight values were observed in the medium-early hybrids Kalatur (32.1 g), ES Foen (32.8 g), and ES Musson (30.1 g) at 200,000 plants/ha with the application of the growth regulator. Three-year data confirm that a quantity of 200,000 plants/ha is optimal for the studied hybrids, making plant quantity a key factor in grain sorghum cultivation technology, as it determines nutrition area, which is fundamental for biometric and structural–morphological characteristics.

During the research period, the highest grain yields were obtained for the medium-early hybrids Kalatur (4.56–4.86 t/ha), ES Foen (4.58–4.87 t/ha), and ES Musson (4.53–4.82 t/ha) at a quantity of 200,000 plants/ha across all treatments. Plant quantity had the greatest impact on grain productivity. At 200,000 plants/ha, yield was on average 1.06 t/ha (32%) higher than at 170,000 plants/ha. Further thickening reduced yield by 0.43 t/ha compared to the optimal quantity. In terms of protein content, the medium-early hybrid ES Foen (11.9–12.3%) and the early hybrid Albanus (11.6–12.1%) showed the best results; for starch content, the medium-early hybrids Kalatur (66.3–72.2%), ES Foen (66.5–72.6%), and ES Musson (71.8–74.0%) were leaders; and ES Foen demonstrated the highest test weight (755–778 g/L). Maximum quality indicators were achieved at 170,000 plants/ha with growth regulator application.

Grain protein content ranged from 10.4% to 12.9%, showing substantial variation both among hybrids and between control treatments and those treated with the plant growth regulator. Among all variants, ES Foen demonstrated the highest

protein levels at plant densities of 170 and 200 thousand plants/ha when treated with the regulator—11.4–12.9% and 11.4–12.7%, respectively.

The dynamics of starch accumulation in sorghum grain were inversely related to plant density: the highest average starch content was recorded in the hybrid ES Musson at 170 thousand plants/ha with the use of the growth regulator—74.0%. Under the same conditions, ES Foen contained 72.6% starch, and Kalatur—72.2%.

Test weight (grain bulk density) tended to decrease with increasing plant density. On average, at 170 thousand plants/ha in the control variants, test weight reached 628 g/L in Kalatur, 697 g/L in ES Alize, 767 g/L in ES Foen, 637 g/L in Albanus, and 700 g/L in ES Musson. The application of the growth regulator increased grain test weight by 1–2%, depending on the hybrid.

Mathematical modeling of the influence of cultivation elements on grain sorghum productivity revealed that the medium-early hybrids Kalatur, ES Foen, and ES Musson demonstrated the highest adaptive potential in the Northern Steppe under 200,000 plants/ha with growth regulator application. Profitability reached its peak at 200,000 plants/ha for all hybrids, both in control and with growth regulator treatments (+5.5–9.3% profitability). The highest profitability was recorded for Kalatur (66.2%), ES Foen (64.2%), and ES Musson (63.4%) at 200,000 plants/ha with growth regulator application.

The energy efficiency coefficient ranged from 13.38 to 14.95 for all treatments without growth regulator application, and from 14.33 to 15.78 with its application. Increasing plant quantity reduced both the utilization of PAR and the energy efficiency coefficient. The highest bioenergetic efficiency values were recorded for the medium-early hybrids Kalatur (EEC = 15.78), ES Foen (EEC = 15.77), and ES Musson (EEC = 15.74) at 200,000 plants/ha with growth regulator application.

Keywords: grain sorghum, hybrids, plant quantity, growth regulator, yield, grain quality, economic efficiency, bioenergetic efficiency of cultivation technology.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових виданнях,

включених до Переліку наукових фахових видань України

1. Сухіна Д. В. Формування площі листкової поверхні гібридів сорго зернового (*Sorghum*) залежно від густоти стояння рослин та застосування регулятора росту. *Агроекологічний журнал*. 2025. № 2. С. 156-162.

2. Сухіна Д. В., Новицька Н. В. Якість зерна гібридів сорго зернового залежно від густоти рослин та регулятора росту в умовах Північного Степу України. *Новітні агротехнології*. 2025. Т. 13, № 1. (Сухіною Д. В. проведено визначення якісних показників зерна сорго, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено до друку відповідно до вимог видавництва. Новицькою Н. В. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, проведено статистичну обробку отриманих даних).

3. Sukhina D. V., Novytska N. V. Productivity of *Sorghum bicolor* as affected by agronomical practices in the Northern Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*. 2025. № 32. P. 104–113. (Sukhina D. V. проведено аналіз елементів структури врожаю, врожайності зерна сорго, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний науковий пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено статтю до друку. Novytska N. проведено статистичні розрахунки, визначено мету, практичне значення та новизну дослідження).

4. Sukhina D., Novytska N. Influence of agronomic practices on the photosynthetic activity of grain sorghum hybrids in the Northern Steppe of Ukraine. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of*

Ukraine. 2025. Vol. 21. No 2. P. 120-133. (*Sukhina D. V. проведено визначення площі листкової поверхні та чистої продуктивності фотосинтезу за фазами розвитку сорго зернового, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено статтю до друку відповідно до вимог видавництва. Novytska N. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, проведено статистичну обробку отриманих даних*).

Тези наукових доповідей:

5. Kalenska S., Garbar L., Novytska N., Fediv R. Kalenskyi V., **Suhina D.** Challenges to crop production and ways to solve them. Trends and challenges in soil-crop management: 2nd Central European ISTRO Conference (CESTRO) and 8th International Conference of the Czech ISTRO branch September, 6–8, 2022, Brno, Czech Republic: Book of Abstracts. Brno, 2022. P. 38–39. (*Kalenska S. проведено аналіз актуальних проблем продуктивності сільськогосподарських культур. Garbar L. визначено сучасні методи підвищення продуктивності культур. Novytska N. визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами. Fediv R. проведено літературний науковий пошук. Kalenskyi V. визначено мету, практичне значення та новизну дослідження. Suhina D. узагальнено висновки та підготовлено до друку відповідно до вимог видавництва*).

6. **Сухіна Д. В.**, Каленська С. М. Вплив норми висіву та регуляторів росту рослин на врожайність гібридів сорго зернового в умовах Степу України. Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнної відбудови: виклики для України та світу: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 25 травня 2023 року: тези доповіді. Київ, 2023. С. 201–203. (*Сухіною Д. В. проведено аналіз елементів структури врожаю, врожайності зерна сорго, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено*

літературний науковий пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено тези до друку. Каленською С. М. проведено статистичні розрахунки, визначено мету, практичне значення та новизну дослідження).

7. Сухіна Д. В., Новицька Н. В. Формування площі листкової поверхні рослин гібридів сорго зернового залежно від технологічних прийомів вирощування. Сучасні підходи до вирощування, переробки і зберігання продукції рослинництва: Всеукраїнська науково-практична конференція, м. Миколаїв, 21–22 березня 2024 року: тези доповіді. Миколаїв, 2024. С. 15–18. *(Сухіною Д. В. проведено визначення площі листкової поверхні та чистої продуктивності фотосинтезу за фазами розвитку сорго зернового, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено до друку тези відповідно до вимог видавництва. Новицькою Н. В. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, проведено статистичну обробку отриманих даних).*

8. Сухіна Д. В., Новицька Н. В. Фенологічні особливості гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин та застосування регулятора росту рослин у степовій зоні України. Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур: XII Міжнародна науково-практична конференція, с. Центральне, 19 квітня 2024 року: тези доповіді. Центральне, 2024. С. 165–166. *(Сухіною Д. В. проведено визначення термінів настання фенологічних фаз росту та розвитку сорго зернового, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації. Новицькою Н. В.*

визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, проведено статистичну обробку отриманих даних).

9. **Сухіна Д. В.,** Новицька Н. В. Сучасний стан, ефективність та перспективи виробництва сорго зернового на Півдні України. Післявоєнне відновлення ґрунтових і рослинних ресурсів та продовольча безпека країни: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 20–21 червня 2024 року: тези доповіді. Київ, 2024. С. 124–127. *(Сухіною Д. В. проведено аналіз сучасного стану вирощування сорго зернового в Україні, визначено перспективи розвитку культури, узагальнено результати досліджень, проведено літературний пошук, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено до друку тези. Новицькою Н. В. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень).*

10. **Сухіна Д. В.,** Новицька Н. В. Продуктивність гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин та застосування регулятора росту рослин в умовах недостатнього зволоження. Освіта і наука в умовах викликів і загроз. Внесок молодих вчених в сталий розвиток: Міжнародна наукова конференція, м. Київ, 21–22 листопада 2024 року: тези доповіді. Київ, 2024. С. 218–219. *(Сухіною Д. В. проведено аналіз елементів структури врожаю, врожайності зерна сорго, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний науковий пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено до друку тези. Новицькою Н. В. проведено статистичні розрахунки, визначено мету, практичне значення та новизну дослідження).*

11. **Sukhina D.,** Novitzka N. The influence of plant quantity and using growth regulator «Appetizer» on the coefficient of branching of Sorghum bicolor hybrids in conditions of the Steppe zone of Ukraine. Science, technology, innovation: current issues of theory and practice: International Scientific Conference, Riga, Latvia,

December, 6–7, 2024: Book of Abstracts. Riga, 2024. P. 26–29. *(Sukhina D. визначено коефіцієнти продуктивного кушення, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний науковий пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено тези до друку. Novytska N. проведено статистичні розрахунки, визначено мету, практичне значення та новизну дослідження).*

12. **Сухіна Д. В.**, Новицька Н. В. Якість зерна гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин та застосування біостимулятора в умовах Північного Степу України. Продовольча безпека України. Збереження та відновлення ґрунтових і рослинних ресурсів: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 22–23 травня 2025 року: тези доповіді. Київ, 2025. С. 236–240. *(Сухіною Д. В. проведено визначення якісних показників зерна сорго, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено тези до друку відповідно до вимог видавництва. Новицькою Н. В. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, проведено статистичну обробку отриманих даних).*

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	18
ВСТУП	19
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИРОЩУВАННЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО, ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОСТУ ТА РОЗВИТКУ КУЛЬТУРИ ТА ГОСПОДАРСЬКОГО ЗНАЧЕННЯ У СВІТІ ТА УКРАЇНІ	26
1.1. Походження, історія поширення та господарська цінність культури	26
1.2. Стан та перспективи вирощування сорго зернового у світі та в Україні, його роль у формуванні зернового комплексу та продовольчої безпеки .	30
1.3. Еколого-біологічні особливості росту та розвитку сорго зернового, передумови вирощування культури в умовах недостатнього зволоження. Технологія вирощування	36
1.4. Огляд сучасних сортів та гібридів сорго зернового вітчизняної та іноземної селекції, аналіз відповідності екологічним умовам зони вирощування.....	50
1.5. Сучасний стан використання регуляторів росту рослин та біостимуляторів при вирощуванні сорго зернового	56
1.6. Аналіз вітчизняного досвіду у реалізації біологічного потенціалу сорго зернового шляхом формування оптимальної густоти посівів	62
РОЗДІЛ 2. УМОВИ, ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	64
2.1. Характеристика ґрунтово-кліматичних умов зони проведення досліджень.....	64
2.1. Програма наукового дослідження. Методика проведення досліджень і особливості агротехніки	74
РОЗДІЛ 3. АГРОЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ І РОЗВИТКУ ГІБРИДІВ СОРГО ЗЕРНОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ГУСТОТИ СТОЯННЯ РОСЛИН ТА ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЯТОРУ РОСТУ РОСЛИН «АППЕТАЙЗЕР».....	83
3.1. Вплив досліджуваних факторів на фенологічні показники гібридів сорго зернового	83
3.2. Аналіз біометричних параметрів росту та розвитку рослин сорго зернового залежно від гібриду, густоти стояння рослин та застосування регулятору росту рослин «АППЕТАЙЗЕР»	87
3.3. Оцінка впливу факторів, що вивчалися у досліді, на основні структурно-морфологічні показники урожаю сорго зернового	102

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНИХ ОЗНАК ГІБРИДІВ СОРГО ЗЕРНОВОГО, ЗУМОВЛЕНИХ ДОСЛІДЖУВАНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ.....	111
4.1. Вплив густоти стояння та застосування регулятора росту рослин «АППЕТАЙЗЕР» НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ГІБРИДІВ СОРГО ЗЕРНОВОГО	112
4.2. АНАЛІЗ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗЕРНА СОРГО ЗЕРНОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ДОСЛІДЖУВАНИХ ФАКТОРІВ.....	118
4.3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА ФОРМУВАННЯ УРОЖАЙНОСТІ СОРГО ЗЕРНОВОГО	123
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ТА БІОЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО	131
5.1. АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ГІБРИДІВ СОРГО ЗЕРНОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ГУСТОТИ СТОЯННЯ РОСЛИН ТА ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЯТОРУ РОСТУ	131
5.2. ОЦІНКА БІОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО ЗА ВПЛИВУ ДОСЛІДЖУВАНИХ ФАКТОРІВ	135
ВИСНОВКИ.....	138
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	142
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	143
ДОДАТКИ	167

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АПК – агропромисловий комплекс

БАР – біологічно активні речовини

ГСП – густина стояння рослин

ГТК – гідротермічний коефіцієнт

ЕПШ – економічний поріг шкодочинності

Корм.од. – кормова одиниця

ПДВ – податок на додану вартість

ПУСБ – приріст урожаю сухої біомаси

РНК – рибонуклеїнова кислота

РРР – регулятор росту рослин

СБЗ – середнє багаторічне значення

СПЛ – середня площа листя за міжфазний період

Т – період

ФАР – фотосинтетична активна радіація

ФОС – фосфорорганічні сполуки

ФП – фотосинтетичний потенціал

ЧПФ – чиста продуктивність фотосинтезу

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

ROI – Return On Investment (рентабельність інвестицій)

ВСТУП

Глобальне потепління та дедалі частіша тривалість посух за останні десятиліття стали основними проблемами сільського господарства на регіональному та глобальному рівнях, що призводять до зниження урожайності основних сільськогосподарських культур. Враховуючи одне з найважливіших завдань АПК та аграрної політики України, а саме – забезпечення продовольчої безпеки, оптимальним рішенням проблем впливу зміни клімату є підбір культур, що відрізняються високою продуктивністю за несприятливих умов, а також дослідження та впровадження у виробництво ефективних адаптивних та ресурсощадних технологій вирощування сільськогосподарських культур в умовах високих цін на енергоресурси (паливо-мастильні матеріали, добрива, засоби захисту рослин та інші).

Актуальність теми. Стабілізація виробництва зерна за несприятливої дії біотичних та абіотичних факторів є основним завданням для сільськогосподарських підприємств, що можливе за рахунок впровадження стійких культур та розробка інноваційних технологій чи вдосконалення існуючих технологій вирощування сільськогосподарських культур. Однією з таких культур є сорго зернове, яке має багато переваг з технологічної та господарської точки зору при вирощуванні, збиранні, зберіганні та використанні зерна. Сорго зернове характеризується високою посухостійкістю, невибагливістю до ґрунтів, а також ефективним використанням запасів вологи на формування одиниці маси сухої речовини у порівнянні з іншими культурами. Окрім того, зерно сорго зернового має широкий спектр використання у різних сферах промисловості, через що культура має перспективи збільшення обсягів виробництва в сучасній кон'юктурі ринку України.

Виклики, що постають сьогодні перед аграрним виробництвом, потребують рішень, які забезпечують найбільшу продуктивність культур та високий рівень рентабельності їх виробництва. У технологіях вирощування сільськогосподарських культур такі рішення полягають у дотриманні

сівозміни, системи обробітку ґрунту, виборі районованих сортів та гібридів рослин, густоті стояння рослин, способу та строків сівби, використанні засобів захисту рослин, добрив та інших. Агротехнічні заходи спрямовані на створення для рослин оптимальних умов росту та розвитку рослин, а також на посилення їх захисної реакції, а їх ефективність проявляється як у самотійній дії, так і у сукупності з іншими факторами.

Так, густина стояння рослин та розміщення їх відносно одне одного у просторі з урахуванням характерних для них біометричних даних формують основні умови їх розвитку, до яких відносяться: живлення, рівень освітлення, вологозабезпечення, теплозабезпечення, продувність рослин у посівах. Через це такий агротехнічний захід слід вважати основоположним у технології вирощування сільськогосподарських культур та доцільним для дослідження як окремого фактора впливу на продуктивність рослин, так і в сукупній дії з іншими.

У той же час одним з ефективних рішень є застосування на посівах культур регуляторів росту рослин, які оптимізують метаболізм рослинних клітин, активізують ріст та розвиток рослин, прискорюють дозрівання, підвищують урожайність та якість продукції за рахунок синтетичних та природних органічних сполук. З використанням їх у виробництві значно зменшуються обсяги застосування засобів хімічного захисту та добрив. Сьогодні цей клас речовин є добре вивченим, адже виявлено й описано близько 5 тисяч сполук рослинного, мікробного та штучно синтезованого походження, які спричиняють регуляторну дію на рослини, проте у виробництві їх використовується не більше ніж 50 [16]. Одним з них є новітній багатокомпонентний біостимулятор рослин «Аппетайзер», який був обраний нами для вивчення його ефективності у технології вирощування сорго зернового.

Перспективи збільшення площ вирощування сорго зернового в Україні в умовах змін клімату стали передумовою для проведення нами досліджень

впливу густоти стояння рослин та регулятору росту рослин «Аппетайзер» на продуктивність гібридів сорго зернового.

Об’єкт досліджень: процеси росту, розвитку, формування урожайності та якості зерна гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин та регулятору росту рослин.

Предмет досліджень: Гібриди сорго зернового різних груп стиглості; Біометричні показники, урожайність та якість зерна сорго зернового; регулятор росту рослин; густота стояння рослин; економічна та біоенергетична ефективність агротехнічних прийомів у технології вирощування сорго зернового.

Мета й завдання досліджень: Головною метою роботи є теоретичне обґрунтування адаптивних технологій вирощування сорго зернового та підвищення його продуктивності за рахунок підбору гібридів, оптимальної густоти стояння рослин та застосування сучасного регулятору росту рослин «Аппетайзер».

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

- провести аналіз сучасного стану вирощування сорго зернового у світі та Україні;
- дослідити еколого-біологічні особливості росту та розвитку рослин сорго зернового;
- провести аналітичний огляд сучасного сортового та гібридного складу сорго зернового вітчизняної та іноземної селекції, визначити перспективні сорти та гібриди сорго зернового для вирощування в ґрунтово-кліматичних умовах України;
- провести аналітичний огляд сучасних регуляторів росту рослин та ефективності застосування у технології вирощування сорго зернового;
- встановити залежність термінів настання фенологічних фаз та тривалості міжфазних періодів сорго зернового від досліджуваних факторів;

- виявити вплив досліджуваних факторів на біометричні, структурно-морфологічні показники рослин сорго зернового;
- визначити варіювання продуктивності та якості зерна сорго зернового залежно від досліджуваних факторів;
- встановити ефективність застосування сучасного регулятора росту рослин «Аппетайзер», різної густоти стояння рослин у технології вирощування гібридів сорго зернового різних груп стиглості;
- розрахувати економічну та біоенергетичну ефективність адаптивних технологій вирощування сорго зернового за впливу факторів, що вивчаються.

Методи дослідження. Під час проведення досліджень використовували загальнонаукові та спеціальні методи досліджень, основними з яких були: емпіричний – польовий, для дослідження змін у рості, розвитку та формуванні індивідуальної продуктивності гібридів сорго зернового; лабораторний – вимірювально-ваговий для визначення біометричних показників рослин сорго зернового; фізіологічний – для дослідження фотосинтетичної діяльності рослин протягом вегетаційного періоду сорго зернового; статистичний метод – дисперсійний аналіз для обробки експериментальних даних та достовірності отриманих результатів; порівняльно-розрахунковий – для визначення економічної та біоенергетичної ефективності оптимізованих технологічних заходів вирощування сорго зернового; графічне та табличне відображення отриманих результатів.

Наукова новизна отриманих результатів: полягає у науковому обґрунтуванні практичних рекомендацій щодо застосування сучасного регулятора росту рослин «Аппетайзер» у технології вирощування сорго зернового для підвищення стійкості рослин до несприятливих умов, розширення номенклатури гібридів сорго зернового різних груп стиглості та формування оптимальної густоти стояння рослин для підвищення продуктивності культури в умовах недостатнього зволоження.

Уперше:

- досліджені та науково обґрунтовані оптимальна густота стояння рослин та використання регулятора росту рослин «Аппетайзер» для гібридів сорго зернового Калатур, ЕС Алізе, ЕС Фоен, Албанус та ЕС Муссон;
- обґрунтовано особливості формування урожайності та якості зерна гібридів сорго зернового залежно від досліджуваних агротехнічних прийомів;
- проведено економічну та біоенергетичну оцінку ефективності досліджуваних елементів у технології вирощування сорго зернового.

Удосконалено:

- технологію вирощування сорго зернового шляхом поєднання взаємодії досліджуваних факторів – високопродуктивного пластичного гібриду, оптимальної густоти стояння рослин та застосування регулятора росту рослин «Аппетайзер»;
- наукові та практичні засади прогнозування урожаю сорго зернового;
- систему живлення сорго зернового під впливом регулятора росту рослин «Аппетайзер» з антистресовою дією.

Набули подальшого розвитку:

- наукові підходи до формування сортової агротехніки вирощування сорго зернового.

Доведено:

- економічну та біоенергетичну ефективність розроблених елементів технології вирощування сорго зернового.

Практичне значення одержаних результатів. За результатами узагальнення польових, лабораторних та аналітичних досліджень 2022-2024 років для отримання високих, стабільних та економічно вигідних урожаїв сорго зернового в посушливих умовах Північного Степу України рекомендовано нові гібриди різних груп стиглості, які формують урожайність за оптимальної густоти рослин 200 тис.шт./га; позакореневе застосування регулятора росту рослин «Аппетайзер» забезпечує кращий ріст та розвиток

рослин сорго зернового, сприяє збільшенню біометричних та структурно-морфологічних показників рослин, а також підвищує продуктивність.

Результати досліджень пройшли виробничу перевірку у сільськогосподарському підприємстві Північного Степу України впродовж 2022-2024 рр., що підтверджено відповідними довідками про впровадження результатів досліджень (Додаток А).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є особистим дослідженням автора, а схема дослідів та програма досліджень розроблені здобувачем разом з науковим керівником роботи. Автором здійснено інформаційний пошук та аналіз вітчизняних та зарубіжних наукових джерел за темою дисертаційної роботи, проведено польові та лабораторні досліді, фенологічні та біометричні спостереження, проаналізовано й узагальнено експериментальні дані, сформульовано висновки та рекомендації виробництву, а також опубліковано статті за даною темою. Частка участі здобувача у наукових працях, опублікованих у співавторстві, складає 100% і включає організацію та проведення експериментальних досліджень, аналіз та інтерпретацію отриманих результатів.

Апробація результатів дисертації. Впродовж 2022-2024 рр. основні матеріали, положення та проміжні результати наукових досліджень доповідались на засіданнях кафедри рослинництва Національного університету біоресурсів і природокористування України та науково-практичних конференціях: 2nd Central European ISTRO Conference and 8th International Conference of the Czech ISTRO branch “Trends and challenges in soil-crop management” (September 6-8, 2022, Brno, Czech Republic); Міжнародна науково-практична конференція «Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнної відбудови: виклики для України та світу» (м. Київ, 25.05.2023 р.); Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Сучасні підходи до вирощування, переробки і зберігання продукції рослинництва» (м. Миколаїв, 22.03.2024 р.); XII Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених і спеціалістів

«Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур» (с. Центральне, 19.04.2024 р.); Міжнародна науково-практична конференція «Післявоєнне відновлення ґрунтових і рослинних ресурсів та продовольча безпека країни» (м. Київ, 21.06.2024 р.); Міжнародна наукова конференція «Освіта і наука в умовах викликів і загроз. Внесок молодих вчених в сталий розвиток» (м. Київ, 22.11.2024 р.); International scientific conference “Science, technology, innovation: current issues of theory and practice” (December 6-7, 2024, Riga, Latvia); Міжнародна науково-практична конференція «Продовольча безпека України. Збереження та відновлення ґрунтових і рослинних ресурсів» (м. Київ, 23.05.2025 р.).

Публікації. За результатами наукових досліджень, які відображені у дисертаційній роботі, опубліковано 13 наукових праць, в тому числі: 4 статті у вітчизняних наукових фахових виданнях та 9 тез конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, 5 розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 26 таблиць, 25 рисунків та 11 додатків, викладених на 30 сторінках. У дисертації список використаних літературних джерел налічує 189 найменувань на 24 сторінках, у тому числі 92 – латиницею і 130 посилань на електронні ресурси.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИРОЩУВАННЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО, ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОСТУ ТА РОЗВИТКУ КУЛЬТУРИ ТА ГОСПОДАРСЬКОГО ЗНАЧЕННЯ У СВІТІ ТА УКРАЇНІ

1.1. Походження, історія поширення та господарська цінність культури

Центром походження сорго зернового (*Sorghum bicolor* L.) є Африканський континент, що підтверджується великою різноманітністю дикорослих форм на його просторах. Культуру вирощують з стародавніх часів, про що свідчать згадки про неї на єгипетських стародавніх пам'ятниках, побудованих за 2200 років до нашої ери, а також в Китаї та Індії за 2000 років до нашої ери. На Європейському континенті сорго зернове в літературі вперше згадується набагато пізніше – в 23-79рр. нашої ери в описі «Природній історії в 37 книгах» Плінія Старшого, де вказується, що сорго було завезено в Рим з Індії та Єгипту.

Про поширення сорго зернового в Україну відомостей немає, проте перші досліді з вирощування сорго зернового для годівлі худоби в південних областях України відносяться до 80-х років XIX століття. Організатором досліджень був видатний діяч агрономії А.І. Ізмаїльський. Крім того, він впроваджував сорго для отримання силосу, зеленого і грубого корму в господарствах Таврійської губернії. У 90-х роках XIX століття цю культуру досліджував професор Є.Ю. Васильєв на дослідних полях Уманського землеробського училища. Потім дослідження сорго зернового були припинені аж до XX століття, після чого досліді над інтродукованими із США сортами відновив професор В.В. Таланов.

Перші досліді з агротехніки, селекції та насінництва сорго зернового в Україні проводив до 1927 року академік Б.П. Соколов, який створив перші сорти Ранній бурштин дніпропетровський, Віничне 623 та інші на Синельниківській дослідній станції ВНДІ кукурудзи [61].

Посівні площі сорго зернового у світі особливо зростали після тривалих посух, коли інші зернові культури різко знижували урожай. Зокрема, такі періоди у світі спостерігалися в 1920-1925рр., 1930-1935рр. та 1974-1977рр. У ці періоди площі посіву сорго зернового значно зростали, але через деякий час знову скорочувалися. Це пояснюється тим, що з одного боку, сорго завжди відрізнялося підвищеною продуктивністю в несприятливих умовах, а з іншого – воно залишалося другорядною маловивченою культурою [160].

На початку 80-х років XX століття доктор сільськогосподарських наук, професор М. А. Шепель науково обґрунтував збільшення посівних площ сорго зернового в південних областях України до 1,8 млн га. Наприкінці 80-х – початку 90-х років XX століття посівні площі сорго зернового вже становили 20-25 тис. га, проте в умовах екстенсивного землеробства, при дешевих енергоносіях та недостатній кількості високоякісного насіння, господарства не були зацікавлені у розширенні посівних площ культури [61]. Відновлення вирощування сорго зернового в Україні почалося з 2000 року (5 тис. га), у 2005 році посівні площі збільшилися до 20,1 тис. га, у 2010 році – до 28,7 тис. га.

На сьогоднішній день широкими комплексними дослідженнями по сорговим культурам в Україні займаються Інститут зернових культур НААН України (м. Дніпро) та Селекційно-генетичний інститут – національний центр насіннєзнавства та сортовивчення (м. Одеса). Протягом багаторічної дослідницької та селекційної роботи були створені високоврожайні сорти та гібриди сорго зернового, які в подальшому були впроваджені у виробництво.

У теперішній час ареал обробітку сорго зернового охоплює багато країн на всіх континентах світу, більша частина його використовується для кормових цілей, проте в посушливих зонах зерно сорго зернового використовується в харчовій промисловості (виробництво круп, пластівців, борошна, крохмалю, пива тощо) [6; 109]. Найбільш поширеною у виробництві ця культура є в Африці, Індії, США, Аргентині, Мексиці, Нігерії, Судані, Китаї та Ефіопії.

Зерно сорго зернового є важливим джерелом концентрованих кормів для тваринництва посушливих регіонів України, та за вмістом основних поживних речовин майже не поступається зерну кукурудзи [185]. Так, зерно сорго містить 70-75% крохмалю, 12-14% білку, 3-5% жиру, 2,4-4,8% клітковини. У 100 кг зерна міститься 120-130 корм. од. Також зерно сорго успішно переробляють на спирт та добавки до бензину. Таким чином, поширення сорго зернового у світі свідчить про успішність його використання в багатьох країнах.

Низькі норми висіву та довгий строк зберігання схожості насіння разом з пізніми строками сівби роблять сорго зернове потенційно стратегічною культурою для пересіву у випадку масової загибелі посівів озимих та ранніх ярих культур) [51].

Сорго зернове характеризується невибагливістю до складних агрометеорологічних умов та займає перше місце у світі серед сільськогосподарських культур за посухо- та солестійкістю, що дає можливість використовувати його першою культурою при освоєнні еродованих схилів. В умовах посухи зернове сорго (транспіраційний коефіцієнт якого становить 300) суттєво перевершує за урожайністю та виходом кормових одиниць з 1 га традиційні кукурудзу, пшеницю та горох (транспіраційні коефіцієнти яких дорівнюють відповідно 338, 513 та 730). Під час несприятливих посушливих умов у корінні утворюється захисний кремнієвий шар, що оберігає їх від висихання. Таке ж значення має восковий наліт на стеблах і листках рослин. Якщо в ґрунті зберігається трохи вологи, культура продовжує рости, незважаючи на спеку, низьку вологість повітря і суховії. При повному пересиханні ґрунту рослини впадають у стан спокою, припиняють ріст і розвиток, та після випадання опадів знову переходять до активної життєдіяльності. Такі властивості сорго надають йому переваги порівняно з іншими культурами в зонах ризикованого землеробства [96].

Сорго зернове є однією з найбільш відомих та давніх зернових культур у світі, що поширена у землеробстві через агробіологічні переваги порівняно з

іншими зерновими: вона здатна формувати високі врожаї в різних кліматичних умовах на різноманітних ґрунтах завдяки потужній, глибоко проникаючій в ґрунт кореневій системі. Питання вирощування зернового сорго є дуже актуальним через стабільний попит на зерно завдяки широкому спектру застосування сировини.

1.2. Стан та перспективи вирощування сорго зернового у світі та в Україні, його роль у формуванні зернового комплексу та продовольчої безпеки

За обсягами виробництва сорго зернове (64 млн т) займає п'яте місце після кукурудзи (1076 млн т), пшениці (750 млн т), рису (484 млн т) та ячменю (146 млн т) у світовому виробництві зернових культур, а його частка у структурі становить 2% [117]. За статистичними даними Продовольчої та Сільськогосподарської Організації Об'єднаних Націй від 2010 до 2022 року посівні площі сорго зернового у світі коливалися в межах від 39,20 до 44,91 млн га, а валові збори цієї культури становили від 56,72 до 68,30 млн т (Рис. 1.1), що свідчить про стабільність попиту на продукцію на ринку, а також про достатньо високий рівень продуктивності культури для рентабельного виробництва за несприятливих умов [38; 118].

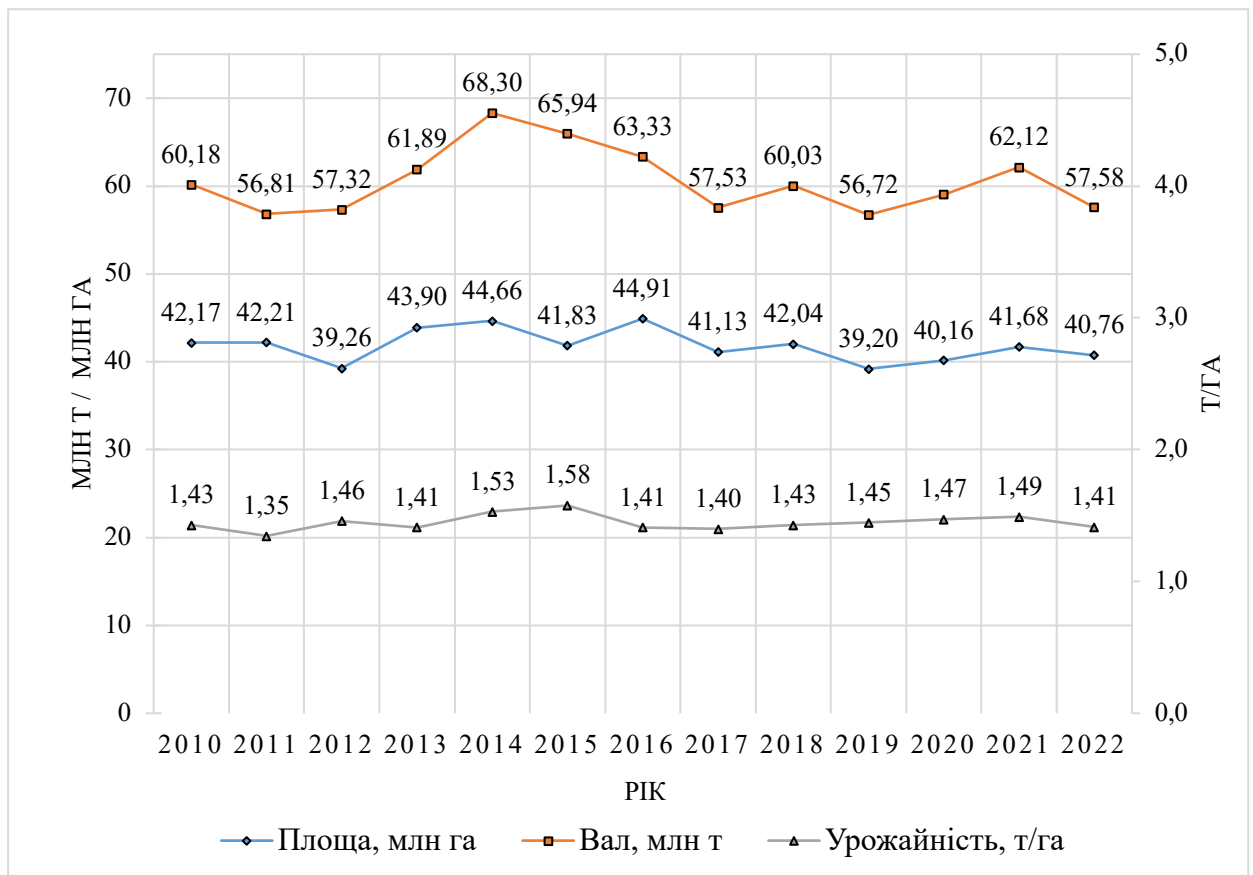


Рис. 1.1 Загальні посівні площі та світове виробництво сорго зернового за період 2010-2022рр. [117]

Обсяги експорту сорго зернового у світовій торгівлі за період 2010-2022 МР зросли на 69% - від 6,32 млн т у 2010 році до 10,68 млн у 2022 році, що зумовлено збільшенням споживання цієї культури. Перше місце в структурі світового продажу сорго зернового посідає США – 54%, друге місце посідає Аргентина – 24%, третє місце посідає Австралія – 19%, на інші країни припадає до 3% експорту. Загалом обсяги експорту сорго зернового щодо його споживання становлять близько 10%, що пояснюється використанням цього зерна на внутрішніх ринках країн-виробників [117].

Найбільшими виробниками сорго є США, Нігерія, Індія, Мексика, Судан, Аргентина, Ефіопія, Китай та Бразилія. Лідером серед країн за валовими зборами культури довгий час залишались США, проте у 2022 році вони посіли третє місце в рейтингу (4,7 млн т), віддавши перше місце Ефіопії (6,8 млн т) та друге місце Судану (5,2 млн т). Підвищенням виробництва також відрізнялася Австралія, яка у 2022 році збирила рекордний урожай – 2,64 млн т зерна (Рис. 1.2).

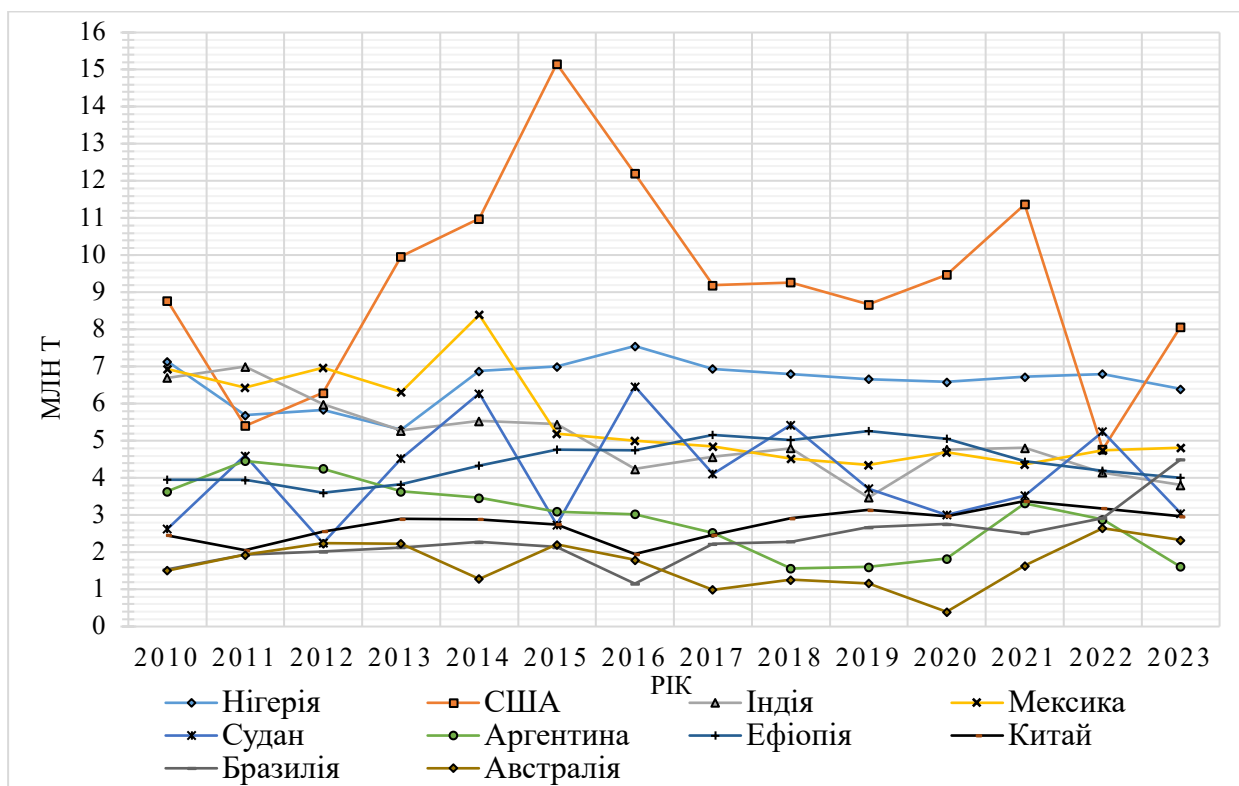


Рис. 1.2 Динаміка виробництва сорго зернового найбільших країн-виробників світу та України протягом 2010-2022рр. [27; 117]

У 2023 році перше місце знову посіли США (8,0 млн т), друге місце – Нігерія (6,4 млн т), третє місце – Мексика (4,8 млн т). Великі валові збори сорго зернового були зафіксовані у Бразилії (4,5 млн т), Ефіопії (4,0 млн т) та Індії (3,8 млн т).

За площею вирощування сорго зернового у світі серед країн переважає Судан – площі за період 2010-2023 рр. коливалися в межах 4,1-9,1 млн га. Друге місце посідає Нігерія з незначними коливаннями площі в межах 4,6-5,9 млн га. Третє місце посідає Індія, яка за останнє десятиріччя знизилася площі вирощування сорго з 7,7 млн га до 3,5 млн га. На четвертому місці за площею вирощування сорго знаходяться США з перемінними значеннями в межах 1,6-3,2 млн га. Мексика та Ефіопія розділяють п'яте місце за площею сорго, яка становила протягом 2010-2023 рр. від 1,3 до 2,0 млн га. Інші країни вирощують сорго на площі до 1,0 млн га [117].

Загалом, за даними Food and Agriculture Organization of the United Nations, за середньою урожайністю сорго зернового за період 2010-2023 рр. перше місце посідає Китай (4,63 т/га), друге місце – Аргентина (4,35 т/га), третє місце – США (4,07 т/га), четверте місце – Мексика (3,55 т/га), п'яте місце – Україна (3,09 т/га), шосте місце – Австралія (2,98 т/га), сьоме місце – Бразилія (2,98 т/га). Інші країни мають показники урожайності сорго у межах 0,61-1,20 т/га.

Дані FAO за період 2019-2023 рр. свідчать, що основним імпортером зерна сорго на теперішній час є Китай – 6,1 млн т щороку у середньому, а до основних країн-експортерів належать США (5,3 млн т щороку), Австралія (1,3 млн т) та Аргентина (1,0 млн т). Це свідчить про попит на сорго у міжнародній торгівлі та його орієнтацію на Далекий Схід.

Усупереч невеликій площі вирощування сорго в Україні порівняно із площами інших країн, досягнуті вітчизняними виробниками показники урожайності культури є високими та свідчать про перспективи розвитку сорго в Україні. Також вченими встановлено, що посушливі умови з підвищеним температурним режимом, характерні для степової зони України, сприяють зростанню вмісту білка у зернових культур [57; 126; 171].

В Україні сорго зернове вирощують переважно як кормову культуру на зерно і зелену масу на площі від 40 до 100 тис. га. Основні площі посіву розміщені в південних посушливих областях: Миколаївській, Херсонській, Одеській, Дніпропетровській та Запорізькій. Середня урожайність культури досить мінлива, та за період 2010-2022рр. коливалася в межах 1,52-4,63 т/га. У передових господарствах досягають урожайності 4,5-5,0 т/га зерна і навіть більше.

В Україні сорго вирощують здебільшого у степовій зоні. Серед факторів, що стримують розширення площі посівів сорго в інших зонах, є недостатня сума ефективних температур упродовж вегетаційного періоду. Стан вирощування сорго зернового в Україні наведений у Таблиця 1.1 [8; 65; 89].

Таблиця 1.1

Посівні площі зернових культур за період 2010-2024 рр., тис. га

Рік	Площа зернових культур	Культура							
		Пшениця	Ячмінь	Кукурудза	Сорго	Просо	Гречка	Овес	Жито
Посівні площі зернових культур за період досліджень 2010-2021 рр.									
2010	14151	6284,1	4316,9	2647,6	28,7	85,3	198,6	310,8	279,1
2011	14953	6657,3	3684,2	3543,7	66,7	156,4	285,7	279,9	279,1
2012	14456	5629,7	3293,0	4371,9	136,9	152,5	273,3	301,1	297,8
2013	15522	6566,1	3233,1	4826,9	129,3	78,0	168,4	241,3	279,3
2014	14388	6010,6	3003,1	4626,9	83,1	98,9	136,7	243,6	185,1
2015	14380	6839,5	2805,2	4083,5	50,6	112,2	127,7	210,5	150,8
2016	14001	6205,8	2859,2	4252,2	70,2	107,7	153,7	208,6	143,6
2017	14041	6377,4	2501,5	4480,7	71,0	56,1	185,3	197,8	171,0
2018	14222	6619,6	2484,3	4564,2	41,9	54,8	113,3	195,8	148,4
2019	14928	6825,3	2609,2	4986,9	46,8	93,3	69,2	181,9	115,4
2020	14958	6564,5	2374,5	5392,1	47,2	159,1	84,1	199,0	137,8
2021	15659	7095,0	2476,0	5522,0	42,8	83,0	90,0	178,0	172,0
Посівні площі зернових культур за період досліджень 2022-2024 рр.									
2022	11587	5281,5	1740,2	4124,5	15,2	49,1	121,0	154,0	101,5
2023	10984	4664,8	1495,5	4112,7	13,9	89,1	147,6	165,0	79,3
2024	11028	4860,6	1396,8	4026,4	18,0	89,3	87,8	172,9	71,6

Вирощування сорго зернового в Україні протягом 2010-2024 років характеризувалося перемінними зростаннями та спадами посівних площ (Рис. 1.3), зокрема: за період з 2010 по 2013 рік обсяги виробництва виросли на 475% (за середньої урожайності 1,52-2,64 т/га) [72], протягом 2014-2021 рр. спостерігався період поступового спаду посівних площ сорго зернового з перемінними коливаннями середньої урожайності зерна від 2,26 до 4,63 т/га.

У 2022 році через повномасштабне вторгнення країни-агресора на територію України, що призвело до негативних наслідків для експортної спроможності країни, посівні площі сорго зернового впали до 15,2 тис. га з валовим збором 40,3 тис. т (за середньої урожайності культури 2,65 т/га) .

У 2023 році обсяг вирощування впав до мінімального значення за весь період – 13,9 тис. га з середньою урожайністю 3,05 т/га. Основною причиною негативної динаміки посівних площ сорго є те, що культура орієнтована на експортний ринок збуту через відсутність переробних потужностей в Україні.

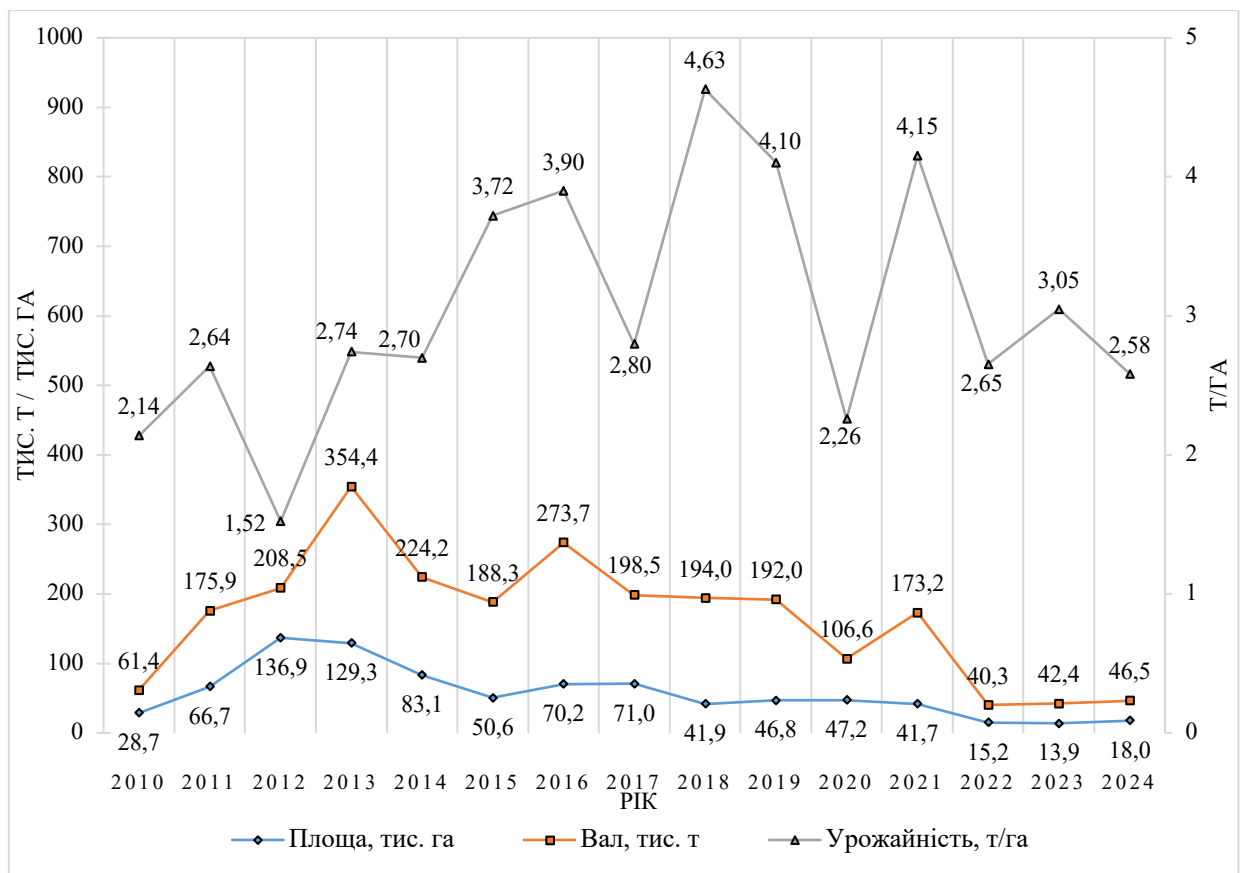


Рис. 1.3 Динаміка посівних площ, виробництва та середньої урожайності сорго зернового в Україні протягом 2010-2024рр. [27; 117]

У 2024 році обсяг вирощування збільшився на 29,5% і досяг 18 тис. га з середньою урожайністю 2,58 т/га.

Для вітчизняного агробізнесу значний потенціал використання сорго зосереджено не лише в сегменті нішевого напряму розвитку аграрного експорту цієї культури, але й безпосередньо в частині диверсифікації основних видів сільськогосподарської діяльності з метою зниження можливих ризиків природно-кліматичного характеру, а також адаптації до цінової кон'юнктури ринку України та інтеграції до спільного аграрного ринку Європейського Союзу [119].

Актуальною на теперішній час залишається необхідність підвищення середньої урожайності сорго зернового через впровадження у виробництво інноваційних наукових розробок і сучасних перспективних високопродуктивних сортів та гібридів, а також удосконалення технології його вирощування [19].

1.3. Еколого-біологічні особливості росту та розвитку сорго зернового, передумови вирощування культури в умовах недостатнього зволоження. Технологія вирощування

Сорго (*Sorghum*) – рід одно- та багаторічних рослин родини Тонконогових (*Poaceae*), що охоплює до 50 дикоростучих і культурних видів, поширених переважно у тропічних і субтропічних країнах, з яких кілька видів культивуються людиною. Із культурних найбільш поширених видів є сорго звичайне, гаолян, джугара та суданська трава, із диких гумай – злісний бур'ян. Економічно найважливіший вид – сорго зернове (*Sorghum bicolor* L.). Характерною особливістю сорго зернового є її ефективний механізм фотосинтезу С-4 типу, завдяки якому рослини сорго можуть активно засвоювати та трансформувати сонячну енергію за температури повітря $+35^{\circ}\text{C}$ і навіть за $+40^{\circ}\text{C}$, у той час як інші культури за цих умов практично припиняють асиміляційні процеси і перебувають у пригніченому стані [43]. Така властивість рослин сорго зернового протистояти несприятливим умовам посухи можлива завдяки особливостям будови листка. Його листки мають ксерофітну структуру, більш щільний шар епідермісу та менший розмір продихів, ніж у кукурудзи, тому рослини сорго менше випаровують вологу [45].

Сорго зернове – рослина висотою від 60 см у карликових форм до 200 см у високорослих, ззовні нагадує кукурудзу, має прямостояче стебло з сухою паренхімною тканиною всередині, слабо кущиться. Листки широкі (на одній рослині їх буває від 10 до 50), вкриті білим восковим нальотом, який запобігає сильному нагріванню рослин. Суцвіття — волоть, стиснута та коротка. Достигання зерна, як і цвітіння, в межах волоті відбувається згори донизу. В одній волоті утворюється від 1600 до 3500 зернин. Зерно сорго плівчасте або голе, округлої, яйцеподібної чи видовженої форми, розміром близько 3 мм в діаметрі. Маса 1000 зерен дорівнює 25-35 г і більше. Зерно сорго має широкий діапазон кольорів, таких як білий, кремовий, жовтий, помаранчевий,

бронзовий, червоний, коричневий, і різні комбінації цих кольорів. Серед факторів, що впливають на візуальний колір сорго є колір та товщина навколоплідника, присутність або відсутність насінневої шкірки, кольору і товщини насінневої шкірки, і колір ендосперму. Квіткові луски можуть щільно або злегка обрамляти зернівку, сім'яніжка міцна і зерно не осипається. Зерно білого кольору придатне для продовольчого використання, у червоному зерні міститься терпка речовина танін, яка негативно впливає на засвоєння поживних речовин організмом [58].

Коренева система сорго мичкувата, сильно розвинена, проникає в ґрунт на 150-200 см. На рослинах утворюються повітряні корені. Завдяки доброму розвитку кореневої системи сорго росте на різних типах ґрунтів, наприклад на солонцях. Рослини витримують підвищену концентрацію ґрунтового розчину (ріст та розвиток продовжуються за концентрації солей від 0,6 до 0,8%, навіть за вмісту хлоридів і сульфатів) та здатні запобігати вторинному засолюванню. Проте є і виключення – болотисті та кислі ($\text{pH} < 5$) ґрунти [78; 98; 114; 144; 189].

Сорго - теплолюбна і посухостійка культура, перехресно запильна, проте у посушливих районах можливе і самозапилення. Добре витримує не тільки ґрунтову, а й повітряну посуху. Насіння сорго починає проростати за температури $+10-15^{\circ}\text{C}$, оптимальна температура розвитку становить $+20-25^{\circ}\text{C}$ (Таблиця 1.2). Поспішність з сівбою, коли температура ще нестійка і може періодично знижуватися нижче зазначених показників, призводить до пліснявіння та загибелі частини насіння і зрідженості стеблостою. Заморозки $2-3^{\circ}\text{C}$ згубно діють на сходи і недостиглі волоті.

Сорго високопродуктивно використовує вологу на формування одиниці сухої маси (в декілька разів менше, ніж кукурудза, люцерна, соя, горох та інші). Сорго невибагливе до родючості ґрунту, має стабільну продуктивність у жорстких ґрунтово-кліматичних умовах (коефіцієнт пластичності урожаю у два рази менший у порівнянні з ячменем та кукурудзою) [50; 106; 131].

Урожайність його на піщаних і засолених ґрунтах у посушливих районах та на легких чорноземах і важких глинистих ґрунтах значно вища, ніж інших

кормових культур. Сорго в сівозміні розміщують після озимих та ярих хлібів, зернобобових, гречки та інших культур. Воно добре виносить повторні посіви. Сорго може бути задовільним попередником ярих хлібів, але краще після нього розміщувати в сівозміні чистий або зайнятий пари.

Таблиця 1.2

Біологічні особливості сорго зернового

№	Абіотичні фактори та біологічні особливості	Показники
1.	Тепло: - мінімальна температура проростання насіння, °C - оптимальна температура проростання насіння, °C - температура, що спричиняє пошкодження сходів, °C - оптимальна температура росту і розвитку, °C - сума активних температур за вегетаційний період (вище +5 °C), °C	+10...+15 +25...+30 +5 +25...+30 2250–2500
2.	Волога: - оптимальна вологість ґрунту, % - кількість води в орному шарі ґрунту для отримання дружніх сходів, мм - потрібно для набухання і проростання насіння, % - транспіраційний коефіцієнт - критичний період за вологістю	60–70 20–30 60–80 250–300 викидання волоті- дозрівання
3.	Винос елементів живлення, кг/т основної та побічної продукції: N P ₂ O ₅ K ₂ O	 35 11 19
4.	Вимоги до реакції ґрунтового розчину	pH 6.0-7,5
5.	Відношення до світла (довжина дня)	Короткого дня
6.	Оптимальна щільність ґрунту, г/см ³	1,1-1,2
7.	Індекс листкової поверхні Оптимальна площа листкової поверхні на 1 га, тис. м	4,0–7,5 40–75
8.	Тип кореневої системи	Мичкуватий
9.	Заглиблення коренів у ґрунт, м Горизонтальне розростання кореневої системи, м	2,5–3,0 1,0–1,2
10.	Використання ФАР, %	1,0–1,5 (задовільне) 3,0– 4,0 (добре)
11.	Тривалість вегетаційного періоду, діб	90-130

Формування урожаю сорго зернового залежить від сукупної дії екологічних факторів: біологічних (генетичні особливості гібридів),

абіотичних чинників (наявність сприятливих умов для розвитку рослин) та антропогенних (безпосередній вплив діяльності людини). Для забезпечення потреб рослин важливо знати періоди розвитку цієї культури та етапи органогенезу. У розвитку рослин сорго Шепель М. А. (1994) виділяє два основних періоди: перший – формування вегетативних органів (коренів, стебел та листя); другий – утворення генеративних органів (суцвіть, квіток та насіння) [55]. Вчені приділили багато уваги дослідженням етапів росту та розвитку соргових культур, в результаті чого на сьогоднішній день на практиці виокремлюють та застосовують декілька шкал вітчизняних та закордонних дослідників.

Так, шкала Куперман Ф. М. включає 12 етапів органогенезу, які характеризують утворення нових органів рослини або зміну їх розвитку. Окрім цього, шкала передбачає поділ життєвого циклу рослини на 3 періоди: ембріональний-юність (I-IV етапи), зрілість-розмноження (V-VIII етапи) та старість (IX-XII етапи). Однак шкала Купермана Ф. М. не застосовується через необхідність ідентифікувати стадії розвитку органів рослини на ембріональному рівні, що потребує певних навичок та спеціального обладнання. Уніфікована для багатьох рослин шкала ВВСН широко використовується у всьому світі для визначення строків проведення технологічних операцій та складається з 9 макро- та 99 мікростадій розвитку рослин. Шкала Задокса є аналогічною до ВВСН, однак вона не ідентифікує окремо макро- та мікростадії. Шкала Фікеса розрізняє 11 етапів розвитку сорго, серед яких 1 стадія – це поява сходів, а 11 – процес наливу зерна. За шкалою Хауна розвиток злаків поділений на 16 стадій: 1 стадія – це поява першого справжнього листка, а 16 стадія – затвердіння зерна [70].

Загалом, за запропонованою Eastin у 1972 році шкалою розвитку соргових культур вегетацію сорго зернового можна розділити на 3 основні стадії тривалістю орієнтовно по 30-35 днів кожна (рисунк 1.4). Перша стадія – це стадія вегетативного росту, яка триває від сходів до початку формування на стеблі репродуктивних органів (кисть, зерна). Друга стадія – репродуктивна –

від появи волоті на верхівці стебла до цвітіння. Третя стадія – налив зерна- триває від цвітіння до завершення накопичення сухої речовини в зерні [58].

Закордонна наукова та практична література для визначення стадій розвитку соргових культур широко використовує шкалу Вандерліпа та Рівеса (Рис. 1.4), розроблену ними в 1972 році. Вони створили шкалу росту та розвитку, в якій описали етапи росту сорго в масштабі етапів росту від 0 до 9 (етапи 0-5 відносяться до вегетативного періоду, етапи 6-9 до генеративного). Її перевага полягає у тому, що для ідентифікації стадії розвитку культури не потрібно використовувати спеціальні знання особливостей формування органів органів на ембріональному рівні, її шкала співпадає з шкалою ВВСН та іншими, рівномірно висвітлює основні фази росту та розвитку сорго зернового. Зважаючи на потребу співставлення стадій росту сорго за Eastin з шкалою Вандерліпа та Рівеса варто окремо зупинитись на основних етапах росту та розвитку відображених в ній етапів [70; 154].

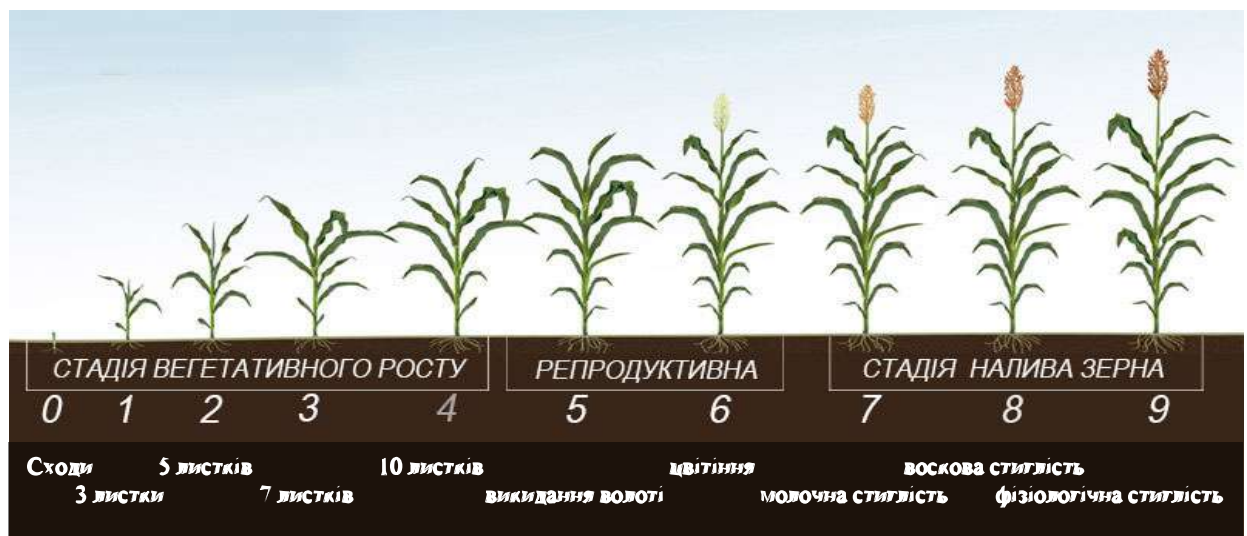


Рис. 1.4 Стадії вегетації сорго зернового за шкалою Eastin та шкалою Вандерліпа та Рівеса [4]

Етап 0 – сходи (ВВСН 10) можна ідентифікувати, коли над поверхнею ґрунту з'являється колеоптиле. Тривалість цього етапу залежить від температури і вологості ґрунту, кількості поживних залишків, глибини висіву, щільності ґрунту та енергії проростання насіння.

Етап 1 – фаза 3-го листка (ВВСН 13) настає, коли рослина має 3 повністю розвинутих листка та видно лігулу третього листка, тривалість фази складає

близько 6 днів, а настає через 10-20 днів від появи сходів залежно від температури і вологості ґрунту. Точка зростання знаходиться під землею, будь-яке пошкодження листового апарату призводить до затримки з цвітінням.

Етап 2 – фаза 5-ти листків (ВВСН 15) настає, коли рослина має 5 повністю розвинутих листків та видно лігулу п'ятого листка, настає через 16-26 днів після появи сходів, а її тривалість становить близько 10 днів. Точка росту над поверхнею ґрунту. Починається швидке зростання, зокрема, кореневої системи, і накопичення поживних речовин. Час для застосування гербіцидів та інсектицидів, адже рослина в цей час дуже чутлива до шкідників та ще не є конкурентоспроможною до бур'янів. Позакореневі добрива також найкраще застосовувати на цій стадії або протягом наступних 10-15 днів.

Етап 3 – під час фази диференціації точки росту (ВВСН 20-29) відбувається перехід від вегетативної (формування листя) до репродуктивної стадії (закладання волоті). Рослина зазвичай має 9-10 сформованих листків. Саме в цій фазі відбувається активний ріст і поглинання поживних речовин, тому важливим є забезпечення рослини цими елементами позакореневим підживленням. Початок формування волоті. На цій стадії один або два нижніх листка можуть відпасти, і біля основи рослини можуть бути присутніми пагони. Цей етап настає через 26-42 днів після появи сходів і триває близько 16 днів.

Етап 4 – фаза прапорцевого листка (ВВСН 30-49) настає через 42-60 днів після появи сходів і триває близько 18 днів. На цьому етапі відбувається швидкий ріст стебла у висоту і збільшення площі листового апарату. До цієї стадії рослина накопичує більше 30% необхідного азоту, більше 20% фосфору і більше 40% калію. Під час цієї фази негативний вплив на рівень продуктивності рослин сорго чинять фактори відсутності достатньої кількості елементів живлення та вологи в ґрунті, а також шкідники.

Етап 5 – фаза викидання волоті і зупинки росту (ВВСН 51-59) настає через 60-70 днів після сходів і триває 10 днів. З'являється суцвіття. Площа листя

досягає максимуму. Верхівка починає подовжуватися. Етап є критичним щодо забезпечення вологою, а тому дія стресових чинників може призвести до неповного виколошування волоті, порушення процесу цвітіння та запилення, та в результаті до формування значно меншої кількості зернівок.

Етап 6 – фаза цвітіння (ВВСН 61-69) відбувається через 5–7 днів після викидання волоті, фіксується за цвітіння 50% рослин і більше, настає приблизно через 70-80 діб з моменту появи сходів і для завершення процесу цвітіння потрібно від шести до восьми днів. Рослина накопичує 70% необхідного азоту, 60% фосфору і більше 80% калію. На цьому етапі будь-яка втрата листової поверхні більше не може бути компенсована формуванням нових листків, а сильний стрес під час цвітіння може призвести до формування волоті з меншою кількістю зернівок та зернівок з низькою масою 1000 зерен.

Етап 7 – фаза молочної стиглості (ВВСН 71-77) проходить від консистенції молока до м'якого тіста (при роздавлюванні зерна), настає через 80-90 днів після появи сходів. Формування зерна починається відразу після цвітіння. Зерно швидко наливається. Стебло втрачає масу через перерозподіл речовин. Основний процес – формування волоті і зерен. На цій стадії швидко накопичується крохмаль, досягається 50% кінцевої маси зерна. Стрес в цей час може значно знизити урожайність. До кінця етапу зерно набуває характерного для сорту чи гібриду забарвлення, і сорго зернове готове до збирання у вигляді силосу. Фаза молочної стиглості триватиме від 7 до 10 днів до тих пір, поки зерно більше неможливо розчавити між великим і вказівним пальцями.

Етап 8 – воскова стиглість (ВВСН 83-90) настає через 90-105 днів після появи сходів та ідентифікуються через характерну консистенцію зерна - зернівка не роздавлюється, але ріжеться як віск. Зерно набирає 75% фінальної сухої маси, а накопичення елементів живлення закінчується. Нижні листя перестають функціонувати через міграцію поживних речовин в зерно. Під час цього етапу рослини сприйнятливі до вилягання через шкідників, хвороби або ж потужного буревію. Похмура погода з тривалими дощами призводить до

знебарвлення та втрати маси 1000 зерен, що особливо актуально для зернового сорго.

Етап 9 – фізіологічна стиглість (BVCH 91-99) ідентифікується, коли у базальній частині насіння з'являється темна пляма, яка сигналізує про закінчення надходження запасних поживних речовин від рослини до насіння. Суха маса зерна досягає свого максимуму, а вологість зерна дорівнює 25-35%. Фаза настає через 106-116 днів після появи сходів, а її тривалість становить близько 10 днів [173].

Знання особливостей етапів онтогенезу сорго зернового дозволяє не тільки дослідити критичні періоди росту та розвитку рослин [107], а й визначити біотичні, абіотичні та антропогенні фактори впливу на розвиток культури, та в результаті знайти способи запобігання дії стресових чинників та шляхи оптимізації умов вирощування сорго зернового.

Технологія вирощування

Місце у сівозміні. Правильне планування сівозміни дає можливість зменшити популяцію шкідників, оскільки чергування культур порушує життєві цикли комах і зменшує їх чисельність. Для сорго зернового найкращими попередниками є зернові озимі культури, зернобобові, гречка. Також в якості попередника допустимі кукурудза на зерно та картопля. Недопустимими попередниками є однорічні трави (суданська трава), цукрові буряки, просо та соняшник. Сорго зернове при беззмінному вирощуванні протягом 4-5 років не суттєво знижує урожай (за умови додаткового внесення мінеральних добрив та пестицидів) та є допустимим попередником соняшнику (має здатність провокувати проростання вовчка соняшникового, але паразитувати на сорго вовчок не може), однак доцільним з агротехнічної точки зору після його вирощування є чорний або зайнятий пар [1; 92; 108; 166].

Враховуючи ґрунтово-кліматичні умови степової зони України, культури, які складають основну частину структури посівних площ переважної кількості сільськогосподарських підприємств та господарств (пшениця озима, ячмінь озимий, ріпак озимий, соняшник, горох), та календарні строки польових робіт

при вирощуванні вищевказаних культур у сівозміні, оптимальним та допустимим(*) розміщенням сорго зернового можна вважати у сівозмінах (у тому числі як страхової культури у разі вимерзання озимих культур) [97; 165]:

- Чорний пар – пшениця озима – сорго зернове
- Чорний пар – горох – пшениця озима – сорго зернове – соняшник
- Чорний пар – ріпак озимий – пшениця озима – сорго зернове
- Чорний пар – пшениця озима – сорго зернове* – соняшник
- Чорний пар – ріпак озимий – пшениця озима – сорго зернове* – соняшник
- Горох – пшениця озима – сорго зернове* – соняшник – ячмінь озимий

Обробіток ґрунту. Технологія вирощування сорго зернового починається з основного обробітку ґрунту і має бути спрямована на знищення бур'янів та накопичення запасів вологи в осінньо-зимовий період. Для забезпечення вищевказаних умов широкого використання набув напівпаровий обробіток ґрунту, який включає післяжнивне лушення стерні відразу після збирання попередника на глибину 6-8 см при незначній забур'яненості однорічними або 8-10 см при забур'яненості багаторічними бур'янами та оранку на глибину 25-27 см через 10-12 днів (або чизельне розпушення на глибину 38-40 см) [137; 181]. Також для якісної підготовки поля при забур'яненості коренепаростковими та кореневищними бур'янами використовують іншу послідовність обробітку ґрунту: він включає післяжнивне лушення стерні на глибину 8-10 см, потім одне-два лушення при появі бур'янів (або знищення бур'янів шляхом застосування гербіциду) та пізню оранку на глибину 25-27 см або глибоке рихлення на 30-35 см (залежно від сівозміни та системи обробітку ґрунту у ній). У випадку застосування гербіциду суцільної дії оранку слід проводити не раніше, ніж через 15-20 днів після внесення препарату [5].

Передпосівний обробіток ґрунту з ранньовесняного боронування ґрунту та однієї-двох культивацій на глибину загортання насіння комбінованими агрегатами залежно від кліматичних умов весни.

Передпосівна підготовка насіння. Оскільки ріст та розвиток сорго зернового на початкових етапах відбувається повільно та суттєво залежить від запасних поживних речовин насіння, і водночас є сприйнятливим до холодних та вологих умов весни, то для запобігання захворювань рослин та пошкодження шкідниками насіння до сівби має бути оброблене фунгіцидними та інсектицидними протруйниками, а також антидотом, що дає можливість проводити обробіток посівів ґрунтовими гербіцидами на основі діючої речовини S-метолахлору.

Сівба. Норму висіву сорго зернового визначають за шириною міжрядь, плановою густотою стояння рослин, показників лабораторної схожості насіння та поправки на неї у польових умовах. Лабораторна схожість якісного насіння гібридів сорго зернового становить 80-85%, у польових умовах схожість менша на 10-12%. Сівбу проводять широкорядним способом (45 або 70 см) за допомогою зернових або просапних сівалок на глибину 3-5 см при досягненні сталої температури ґрунту +10-15°C на глибині 10 см з внесенням стартових добре розчинних добрив з розрахунку NP 10:10 кг діючої речовини. Оптимальною густотою стояння рослин перед збиранням є 80-140 тис.шт./га за широкорядного способу сівби та 200-300 тис.шт./га за звичайного рядкового способу [46]. Відповідно для забезпечення такої густоти стояння з урахуванням показників лабораторної та польової схожості вагова норма висіву становить у межах 3,8-7 кг/га за широкорядного способу сівби та 10-15 кг/га за звичайного рядкового способу.

Після сівби обов'язковим заходом є прикочування посівів котками З ККШ-6. У перші 40-50 днів рослини сорго зернового неконкурентоспроможні (період від сходів до фази 8-10 листків або від етапи 0-4 за шкалою Вандерліпа та Рівеса), через що (за дослідженнями Я. В. Алексєєва, С. С. Семенова, О. Г. Любича, Р. Є. Грищенко, О. В. Глієвої) забур'яненість посівів може зменшувати урожайність культури на 38% [103]. Тому для створення сприятливих умов для безперешкодного розвитку рослин сорго зернового

доцільно використовувати ґрунтові гербіциди до або після сівби з боронуванням.

Догляд за посівами. Основними шкочинними факторами на ранніх етапах розвитку сорго зернового є забур'яненість та ураження шкідниками. Також молоді рослини нестійких гібридів та сортів можуть вражатися хворобами за надмірно вологих умов та температури повітря +13-16°C протягом 10-12 годин (пітіозною кореневою гниллю при прямому посіві при мінімальному обробітку ґрунту, переноспорозом, фузаріозом та гелмінтоспориозом). За рекомендаціями Буценко Л. М. та Решетнікова М. В., обстеження насаджень сорго зернового на наявність бактеріальних хвороб потрібно здійснювати у липні-вересні. Основним симптомом ураження культури збудниками бактеріозів є плямистості на листі та стеблах [17].

Рослини сорго зернового слабо пошкоджуються шкідниками, проте суттєвої шкоди їм завдають злакові попелиці, дротяники і підгризаючі совки. Дротяники і несправжні дротяники виїдають зародки висіяного насіння сорго, підгризають коріння молодих рослин і пошкоджують вузли кущення. При наявності у ґрунті великої кількості дротяників необхідно застосовувати як агротехнічні, так і хімічні заходи боротьби. До агротехнічних заходів відносяться дотримання сівозмін, зяблева оранка, обробіток ґрунту у міжряддях, особливо у період перетворення у лялечку личинок коваликів [169]. Для боротьби з личинками проводять обробку насіння протруйниками з діючою речовиною тіаметоксам або фіпроніл [21; 42; 76].

Одним із шкідників сорго зернового на першому етапі розвитку є озима совка, вона підгризає стебла рослин в районі кореневої шийки, робить отвори у молодих стеблах і листках та знищує сходи культури. При перевищенні економічного порогу шкочинності ($EPШ = 3-8$ екземплярів/м²) необхідним заходом є обробка фосфорорганічними (ФОС) інсектицидами посівів у нічний час доби, коли спостерігається активність шкідника [41; 80; 90]. Також запобіжними заходами від шкідника є зяблева оранка для знищення личинок зимуючого шкідника та ранні або оптимальні строки сівби культури [115].

У фазі 3-5 листків сорго зернового у разі несприятливих умов для пролонгованої дії досходових гербіцидів доцільним є застосування страхових гербіцидів або проведення міжрядної культивуації на глибину 5-6 см. До поширених бур'янів на посівах сорго зернового відносяться мишій зелений та мишій сизий, осот рожевий та осот польовий, берізка польова. Важливим фактором є вчасне внесення страхового гербіциду, тому що внесення препаратів у пізніші строки може призвести до ефекту скручування стебла та навіть розриву тканин рослин, а також селективності дії на більш розвинутих бур'янах.

У випадках підвищеної засміченості посівів або співпадіння строків внесення препаратів проти бур'янів та шкідників, ефективним є застосування бакових сумішей за сумісності препаратів, що дозволяє зменшити норми внесення окремих речовин та підвищує ефективність проти шкочинних організмів.

У фазу 5-7 листків (зазвичай у середині червня) сорго зернове є вразливим до попелиці, поки у фазі виходу волоті його листя не вкриється восковим шаром. У разі виявлення попелиць на посівах сорго (ЕПШ = 1-2 екземплярів на стебло у період сходів-кущення) необхідно застосовувати інсектициди контактно-системної дії шляхом наземного обприскування з застосуванням ПАР для кращої ефективності препаратів, оскільки шкідник знаходиться у середині розетки листя. Попелиці висмоктують сік з нижньої сторони листя та колосків, також є переносниками вірусних захворювань і можуть призвести до пожовтіння, в'янення листків, а також повної загибелі посівів сорго, через що фахівці рекомендують уникати пізніх строків сівби. Також

У період між цвітінням та восковою стиглістю на посівах можуть з'явитися гусениці бавовняної совки (ЕПШ = 1 екземпляр на волоть), які з'їдають генеративні органи. Для боротьби з шкідником необхідно використовувати інсектициди контактної дії на основі ФОС.

У період наливання зерна сорго зернового на ньому відкладає яйця зернова міль. Після збирання культури, доробки та розміщення на зберігання

у складських приміщеннях через 2-2,5 місяці при створенні сприятливих умов (+18-20°C) з'являються гусениці шкідника, які повністю виїдають вміст зернівок. При тривалому зберіганні необхідно систематично відбирати та перевіряти зразки зерна на наявність шкідника та у разі виявлення проводити фумігацію місця зберігання препаратами на основі фосфіну або фосфіду алюмінію.

Збирання. Сорго досягає фізіологічної стиглості, коли вологість зерна у волоті становить 30%, а оптимальна вологість для збирання сорго становить 15-18%. При цьому вегетаційна маса рослин сорго висихає набагато повільніше, ніж зерно, тому не є показником визначення стиглості. Проведення десикації посівів на основі диквату, глюфосинату амонію чи гліфосату призводить до висушування стеблостою, внаслідок чого відбувається відтік пластичних речовин з вегетативних органів у зернівку [23]. Альтернативним варіантом є скошування рослин сорго зернового на висоті, яка мінімізує зрізання стеблостою та листової біомаси.

Хоча сорго зернове не схильне до осипання, фахівці сільськогосподарської галузі вважають його однією із найскладніших культур для збирання через особливості її досягання [141]. Вона полягає у тому, що зернівки сорго досягають з верхівки волоті донизу, тому перевіряти на стиглість потрібно зернівки з нижньої частини волоті. Про дозрівання свідчать чорні плями на обох кінцях зернівки. Сорго зернове збирають прямим комбайнуванням зернозбиральними комбайнами (варто зазначити, що зерно сорго має високу сипучість, тому велику увагу варто приділити герметизації комбайнів). Для запобігання руйнації зерна сорго, число обертів молотильного барабана зменшують до 500-600 об./хв., кліренс між декою та барабаном встановлюють на вході 24-27 мм, на виході – 7-10 мм; між жалюзями верхніх решет – 8-10 мм, нижніх – 5-6 мм.

Основною проблемою при збиранні сорго зернового є втрати, які включають у себе роздроблене зерно, невимолочене зерно, полеглі і незжаті волоті. Втрати, залежно від вологості зерна, висоти зрізування рослин,

кліренсу між декою та барабаном, оборотів барабану та швидкості комбайна, можуть складати від 2 до 4%. Причиною руйнації зерна зазвичай є занадто малий кліренс між декою та барабаном та висока швидкість обертів молотильного барабану.

Доробка та зберігання зерна. Після збирання зерно сорго зернового необхідно доочистити у разі, якщо сміттєва домішка перевищує 3%, зернова домішка – 7% (пророслі та дрібні зерна) [33]. Якщо вологість зерна перевищує 14%, то сорго необхідно почати сушити протягом 4 годин після збирання у сушарці за температури +49-60°C для зерна для харчових цілей (крупа, борошно, крохмаль), +70-80°C для зерна на кормові цілі, +45°C для насіння сорго. Варто зазначити, що зерно має менші розміри, меншу шпаруватість (27-38%) у порівнянні з зерном кукурудзи (35-55%), що погіршує циркуляцію повітря і призводить до перегрівання та злежування зернової маси [63]. У зв'язку з цими особливостями сушіння зерна сорго вимагає більше часу у порівнянні з кукурудзою.

Після висушування зерна до базової вологості (14% на термін зберігання до 3 місяців, та 13,5% на тривалий термін зберігання) його слід охолодити до температури не вище, ніж на 3-5°C за температуру повітря навколишнього середовища за допомогою силосного охолоджувача ОБВ-40 та перемістити у склад для подальшого зберігання [153]. Для забезпечення оптимальних умов зберігання зерна сорго показники вологості та температури повітря контролюють раз на 2 тижні, температуру зерна – раз на тиждень (про відхилення показника вологості зерна зазвичай свідчать кірка та конденсат на його поверхні). Зростання температури зерна, якщо температура повітря не вища за нього, вказує на наявність проблем (активність шкідників, підвищена вологість).

1.4. Огляд сучасних сортів та гібридів сорго зернового вітчизняної та іноземної селекції, аналіз відповідності екологічним умовам зони вирощування

Ґрунтово-кліматичні умови зони Степу України характеризуються недостатнім зволоженням ґрунтів (менше 400 мм опадів за рік) та високими приземними температурами повітря протягом весняно-літнього періоду, що призводить до зниження урожайності основних сільськогосподарських культур на 50-60%, а в окремі роки і значно більше. Враховуючи посухостійкість та невибагливість сорго зернового, ця культура є доцільною для вирощування в несприятливих умовах, характерних для Степу України [96], а основною проблемою є пошук адаптивних сортів чи гібридів сорго зернового як за групою стиглості для реалізації генетичного потенціалу в певних умовах, так і за якістю зерна, стійкістю рослин до ураження шкідниками, холодостійкістю, посухостійкістю, конкурентоспроможністю та іншими критеріями [7; 133; 142; 145].

Окрім того, сорго двокольорове (*Sorghum bicolor* L.) може мати різні форми і розміри, від круглої волоті з вузькою головою до відкритої, опущеною волоті, яка може бути короткою або високою. Існують різні види сорго, в тому числі сорго з зерном червоного, помаранчевого, бронзового, коричневого, білого і чорного кольору. Зерно сорго червоного, помаранчевого або бронзового кольору традиційно вирощується і використовується у всіх сегментах промисловості [122]. Сорти сорго коричневого, кремового і білого кольору зазвичай перетворюються в борошно для харчової промисловості, в той час як сорти чорного і бордового кольору володіють корисними антиоксидантними властивостями і використовуються в інших харчових продуктах [81].

Станом на 2010 рік у Державному реєстрі сортів рослин налічувалося 28 сортів та гібридів сорго різних ботанічних таксонів, з них 11 сортів та гібридів сорго двокольорового (*Sorghum bicolor* L.), з них: 3 сорти вітчизняної селекції

(Інститут зернового господарства УААН, Селекційно-генетичний інститут - Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення УААН), 6 - американської (Пітер Богдан Чикалюк, Дочірнє підприємство «Рейлін») та 2 – французької (Євраліс Семанс, Р2Н).

Протягом 2010-2024 років спостерігалася позитивна динаміка реєстрації нових сортів та гібридів сорго різних ботанічних таксонів (Рис. 1.5), яка характеризувалася повільним зростанням у 2010-2015 роках та активним зростанням протягом 2016-2024 років.

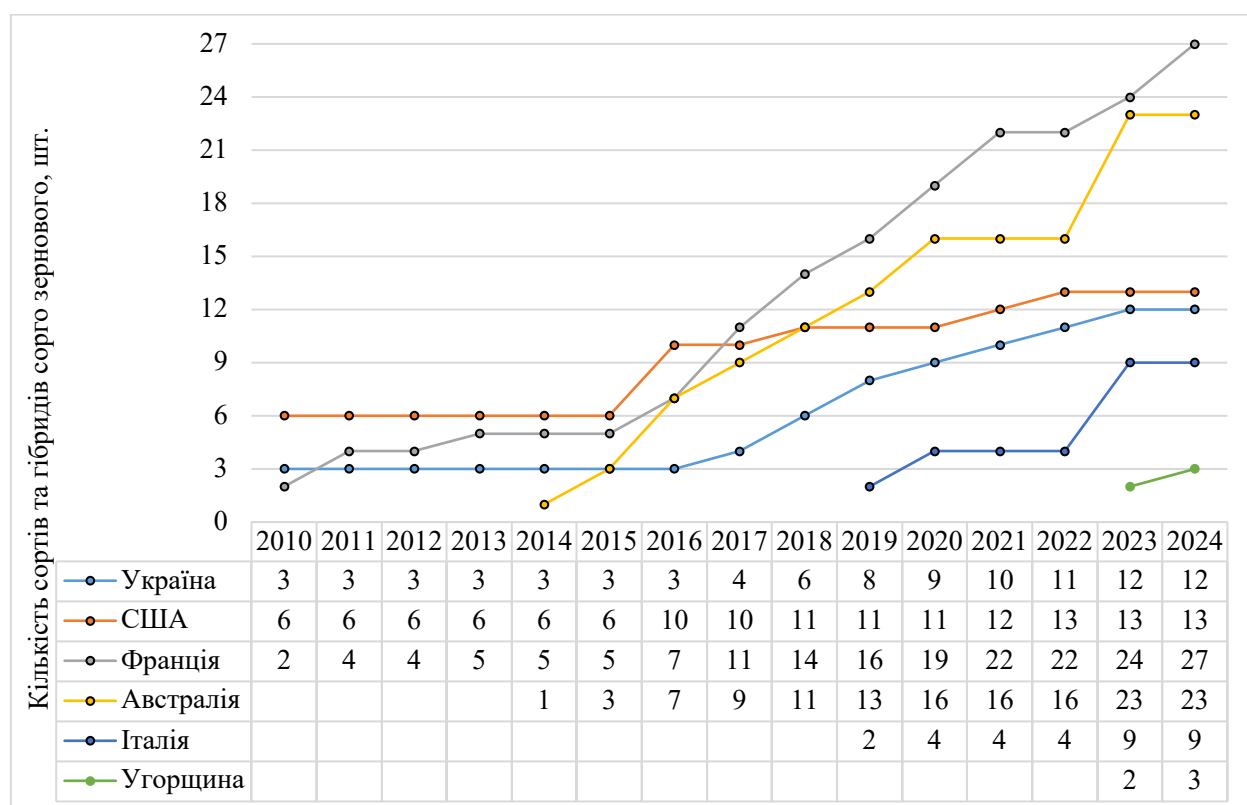


Рис. 1.5. Динаміка реєстрації сортів та гібридів сорго двокольорового найвідоміших селекційних установ різних країн світу у Державному реєстрі сортів рослин України за період 2010-2024 років

У результаті їх кількість станом на 01.01.2024 у порівнянні з кількістю на 01.01.2010 збільшилася на 479%. Так, на сьогодні у Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні налічується 163 сорти та гібриди сорго різних ботанічних таксонів, серед них 95 сортів та гібридів сорго двокольорового (*Sorghum bicolor* L.) та 14 його батьківських компонентів, 4 – сорго віничного (*Sorghum technicum* Roshev.) та 1 його батьківський компонент, 7 – сорго суданського (*Sorghum sudanense* (Piper.) Stapf), 22 – сорго

цукрового (*Sorghum saccharatum* L.) та 8 його батьківських компонентів, 2 – сорго багаторічного (*Sorghum alnum* Parodi), 10 – сорго-суданкових гібридів (*Sorghum vulgare* Pers. x *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf).

На жаль, кількість сортів та гібридів сорго звичайного двокольорового у кваліфікаційній експертизі щороку зростає саме за рахунок іноземної селекції, як наслідок цього, їх значимість у Державному Реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні збільшується.

Так, сьогодні у Державному реєстрі сортів рослин налічується 12 сортів сорго зернового з урахуванням батьківських компонентів вітчизняної селекції (Інститут зернових культур НААН України, Інститут зернового господарства УААН, Селекційно-генетичний інститут - Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення) та 97 – іноземної селекції (Advanta Seed International, Euralis Semences, KWS, Nuseed та ін.), що свідчить про частку вітчизняної селекції у загальній кількості сортів та гібридів на рівні 11%, а іноземної – на рівні 89 %.

До районованих в Україні сортів сорго зернового належать: Краєвид, Південне, Смотрич, Сріблясте, Степовий; до гібридів - Лан 59, Сват, Утлюг, Ярона.

У той же час значного поширення у вітчизняному виробництві набули сорти та гібриди сорго зернового іноземної селекції, серед них основні: МР Екліпс, Баунті, ЕС Алізе, ЕС Арматан, Калатур, Албанус, ЕС Муссон, ЕС Фоен, Арігато, Аркан, КВС Расмус, Домінатор, Ліберті, Оггана, РЖТ Айсбергг, РЖТ Аліггатор.

Виробники, користуючись Державним реєстром сортів рослин, придатних для поширення в Україні, мають можливість обрати та вирощувати сорти та гібриди сорго зернового відповідно до їхньої пристосованості для різних зон вирощування, за показниками потенційної урожайності, якості зерна (вмісту білка та крохмалю), періоду достигання (Рис. 1.6), стійкості до осипання зерна, вилягання, посухи, ураження хворобами та інших.



Рис. 1.6 Структура сортів та гібридів сорго звичайного (двокольорового), рекомендованих для вирощування в різних агрокліматичних зонах України залежно від групи стиглості [44]

Сьогодні, за даними Державного реєстру сортів рослин, для вирощування в різних агрокліматичних зонах України є доступними: 48 ранньостиглих, 26 середньо-ранніх, 11 середньостиглих, 2 середньо-пізніх та 9 пізнєостиглих сортів та гібридів сорго зернового (*Sorghum bicolor* L.).

Для польових досліджень нами були обрані гібриди сорго зернового різних груп стиглості іноземної селекції компанії Lidea, а саме: Калатур, ЕС Алізе, ЕС Фоен, Албанус та ЕС Муссон, які характеризуються високою

стійкістю до осипання та вилягання, а також посухостійкістю та високим потенціалом урожайності за несприятливих умов.

Калатур – середньоранній гібрид (еквівалент ФАО кукурудзи 400-450) зернового напрямку використання, зареєстрований у 2017 році у Державному реєстрі сортів рослин. Вегетаційний період становить 108-109 діб. Висота рослин коливається від 113,8 до 120 см. Має щільну волоть довжиною 28 см. Зернівка білого кольору, маса 1000 зерен дорівнює 25,4-29,5 г. Вміст білка у зерні становить 12,4-12,8%, вміст крохмалю – 74-74,8%. Має високі показники стійкості до полягання (9 балів), осипання (9 балів), посухи (7,6 балів), пухирчастої сажки (9 балів), до стеблового метелика (9 балів). Характеризується стабільним показником урожайності у межах 4,11-5,22 т/га залежно від зони вирощування (Степ, Лісостеп). Рекомендований до використання у Степу.

ЕС Алізе – пізньостиглий гібрид (еквівалент ФАО кукурудзи 400-480) зернового напрямку використання, зареєстрований у 2013 році у Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Вегетаційний період становить 117-120 діб. Висота рослин коливається від 107 до 120 см. Має напівщільну волоть довжиною 28 см. Зернівка помаранчевого кольору, маса 1000 зерен дорівнює 26,9-28,4 г. Вміст білка у зерні становить 10,2-11,6%, вміст крохмалю – 74,6-76,4%. Має високі показники стійкості до полягання (8,8 балів), осипання (9 балів), посухи (8,3 балів), пухирчастої сажки (9 балів), до стеблового метелика (9 балів). Характеризується високим показником урожайності у межах 4,16-6,59 т/га залежно від зони вирощування (Степ, Лісостеп). Рекомендований до використання у Степу та Лісостепу.

ЕС Фоен – середньоранній гібрид (еквівалент ФАО кукурудзи 380-450) зернового напрямку використання, зареєстрований у 2017 році у Державному реєстрі сортів рослин. Вегетаційний період становить 108-111 діб. Висота рослин коливається від 113 до 121 см. Волоть має довжину 28 см, напівщільна. Зернівка червоного кольору, маса 1000 зерен дорівнює 24,7-30,0 г. Вміст білка у зерні становить 12,0-12,8%, вміст крохмалю – 73,8-74,3%. Має високі

показники стійкості до полягання (9 балів), осипання (9 балів), посухи (7,8 балів), пухирчастої сажки (9 балів), до стеблового метелика (9 балів). Урожайність коливається у межах 3,72-5,43 т/га залежно від зони вирощування (Степ, Лісостеп). Рекомендований до використання у Степу.

Албанус – ранньостиглий гібрид (еквівалент ФАО кукурудзи 300-350) зернового напрямку використання, зареєстрований у 2017 році у Державному реєстрі сортів рослин. Вегетаційний період становить 92-100 діб. Висота рослин становить 115-116 см. Має щільну волоть довжиною 30 см. Зернівка білого кольору, маса 1000 зерен дорівнює 25,9-29,0 г. Вміст білка у зерні становить 12,6-13,0%, вміст крохмалю – 74,3-74,8%. Має високі показники стійкості до полягання (9 балів), осипання (9 балів), посухи (9 балів), пухирчастої сажки (9 балів), до стеблового метелика (9 балів). Характеризується стабільним показником урожайності у межах 4,04-5,33 т/га залежно від зони вирощування (Степ, Лісостеп). Рекомендований до використання у Степу.

ЕС Муссон – середньоранній гібрид (еквівалент ФАО кукурудзи 320-400) зернового напрямку використання, зареєстрований у 2016 році у Державному реєстрі сортів рослин. Вегетаційний період становить 103-108 діб. Висота рослин коливається від 105 до 114 см. Волоть має довжину 28 см, напівщільна. Зернівка білого кольору, маса 1000 зерен дорівнює 26,2-26,5 г. Вміст білка у зерні становить 11,4-12,8%, вміст крохмалю – 71,8-73,9%. Має високі показники стійкості до полягання (9 балів), осипання (9 балів), посухи (8,3 балів), пухирчастої сажки (9 балів), до стеблового метелика (9 балів). Урожайність коливається у межах 3,90-4,81 т/га залежно від зони вирощування (Степ, Лісостеп). Рекомендований до використання у Степу [28; 44].

1.5. Сучасний стан використання регуляторів росту рослин та біостимуляторів при вирощуванні сорго зернового

Реалізація генетичного потенціалу рослин залежить від сукупної дії біотичних та абіотичних факторів, зокрема ґрунтово-кліматичних умов, агротехнічних заходів (сівозміна, терміни і норми висіву насіння, внесення добрив, способи оброблення ґрунту), захисту рослин від шкідників, хвороб та інше. Одним із методів збільшення продуктивності сільськогосподарських культур є поліпшення їхнього мінерального живлення, яке в основному останнім часом забезпечують внесенням мінеральних добрив. Проте при надмірному використанні мінеральних добрив підвищується кислотність ґрунту, знижується сума поглинених основ, виникає дисбаланс елементів живлення, відбувається накопичення у ґрунті та продукції рослинництва надлишкової кількості важких металів та хімічних сполук, що можуть становити небезпеку для організму людини. У зв'язку з цим сьогодні актуальним є пошук альтернативних методів ведення аграрного виробництва, які відповідають принципам ефективного використання ресурсів, сприяють відновленню екосистем та мінімізації впливу на довкілля [10; 54; 88; 187].

Важлива роль у цьому належить використанню діяльності ґрунтової мікрофлори, оскільки вона бере участь в утворенні гумусу, мінералізації органічних речовин і перетворенні їх на легкодоступні для рослин форми. Природою закладено всі механізми управління найважливішими процесами: азотфіксація, фосфатмобілізація, синтез мікроорганізмами ґрунту біологічно активних речовин, здатних істотно впливати на фізіологічний стан рослин та їхній імунітет [16; 130].

Одним із методів впливу на фізіологічні процеси рослин в АПК економічно розвинутих країн є використання регуляторів росту рослин (PPR), які можуть стимулювати проростання насіння [47; 152], активізувати вегетативний ріст рослин [155; 159; 184], прискорити процес цвітіння та досягання, підвищувати урожайність [67], захищати від певних хвороб [120;

128] та ін. Цей клас речовин об'єднує синтетичні та природні сполуки, які впливають на життєві процеси рослин, але при цьому не є джерелами живлення. Стимулятори росту здебільшого використовують для позакоренових підживлень у різні фази росту та розвитку рослин, а їх ефективність значною мірою залежить від часу внесення [87; 91; 186]. Результати вітчизняних досліджень позакоренового застосування регуляторів росту рослин на посівах сорго зернового доводять, що прибавка урожаю за різних строків обробки посівів становить від 0,19 до 0,30 т/га [25; 83; 86].

Одним із основних механізмів дії фітогормонів на рослини є модифікація функціонування клітинного генома, зокрема активізація синтезу білків і РНК, зміна матричної доступності ДНК. Встановлено, що комплекси фітогормонів з цитоплазматичними білками надходять до ядра рослинних клітин і регулюють синтез РНК в клітині, впливають на матричну активність та активність РНК-полімераз. У результаті цього індукуються ферментативні реакції, необхідні для здійснення різних гормональних ефектів. Негормональні речовини – вуглеводи, фенольні інгібітори, амінокислоти – здатні утворювати з гормонами малоактивні комплекси або регулювати їх інактивацію продукуванням спеціальних ферментів (наприклад, пероксидаз).

Інша концепція механізму дії РРР полягає у тому, що вони можуть змінювати властивості мембран клітин завдяки утворенню комплексів з їхніми активними центрами. Крім того, можлива конкуренція з фітогормонами в комплексоутворенні з білками-рецепторами як на мембрані, так і в цитоплазмі та ядрі [163].

За хімічною будовою розрізняють п'ять типів фітогормонів:

- Гібереліни – активують синтез нуклеїнових кислот, білків та контролюють синтез фосфоліпідів. Підсилюють мітоз рослинних клітин, прискорюють утворення пластохронів у конусі росту [110];
- Ауксини – стимулюють розвиток рослин, за високих концентрацій пригнічують рослини. Також посилюють поглинання води тканинами, зумовлюють рух цитоплазми;

- Цитокініни – посилюють активність РНК-полімерази та матричну активність хроматину, в результаті прискорюють поділ клітин. Активізують процеси обміну речовин, диференціації хлоропластів, інгібують розпад хлорофілу, затримують старіння [18];
- Абсцизини – репресують певні ділянки геному рослин і послаблюють синтез білків, внаслідок чого гальмують ріст та розвиток рослин, прискорюють процес переходу рослин у період спокою, виявляють активну антистресову дію;
- Етилен – пригнічує біосинтез та функціонування ауксинів. Гормон підсилює процеси старіння, опадання листя та плодів;

В цілому, фізіологічні ефекти фітогормонів виявляються у активізації росту і розвитку рослин, прискоренні процесів обміну речовин, підвищенні якості урожаю та продуктивності рослин.

Усі гормони синтезуються як самими рослинами (фітогормони), так і є продуктами життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів (роди *Azospirillum*, *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Alcaligenes*, *Enterobacter*, *Acetobacter*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Bacillus* та ін.), дріжджів (під *Saccharomyces*), грибів (роди *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Rhizopus*, *Absidia*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma* та ін.). Більшість гормонів за будовою є безазотисними сполуками з циклічною будовою і належать до класу терпеноїдів, фенолів та піронів [22; 29; 179].

Сьогодні на світовому рівні стає більш популярним джерелом фітогормонів для вирощування традиційних сільськогосподарських культур екстракт морських водоростей. Він містить мікро- та макроелементи, а також біологічно активні речовини (БАР):

- Фітогормони ауксини та цитокініни;
- Альгінова кислота – збільшує вегетативну масу надземної та кореневої системи;
- Ламінарин – забезпечує стійкість до грибкових, бактеріальних та вірусних хвороб;
- Фукоїдан – стимулює ріст та розвиток рослин;

- Манітол – хелатує мікроелементи, активує фотосинтез;
- Бетаїн – стимулює синтез хлорофілу, підвищує стійкість рослин до низьких та високих температур;
- Феноли – виконують роль хелатуючого агента, захищають клітини рослин від окисного стресу;

Екстракт одержують із бурих водоростей *Ascophyllum nodosum*, які культивують та збирають на північно-західному узбережжі Європи та північно-східному узбережжі Північної Америки. Цей вид відрізняється високим вмістом біологічно активних речовин, оскільки зростає у припливній зоні та постійно піддається впливу екстремальних температур, повенів, посухи, сольовому стресу та високому рівню ультрафіолетового випромінювання [66; 164]. Процес виробництва екстракту полягає у порушенні клітинної мембрани та виділенні корисних компонентів, для цього використовують різні методи, зокрема метод водної витяжки, кислотної та лужної екстракції, кріообробки або екстракції високим тиском. Активність компонентів екстракту безпосередньо залежить від методу його синтезу [113].

Екстракти морських водоростей присутні на ринку у вигляді рідких екстрактів або у водорозчинній порошкоподібній формі. Основними виробниками препаратів на основі екстракту морських водоростей (ЕМВ) в Україні є:

- ТОВ НВК «Квадрат» (PPP «Квантум СіАмін», ЕМВ-21%);
- ТОВ «Vitagro Partner» (PPP «Energreen premium ocean», ЕМВ-50%);
- ТОВ «Харків Хімпром» (препарат «Нертус Мікс», ЕМВ-12,0% + NPK + Ca + Mg + S + B + Zn + Mn + амінокислоти + ауксини + цитокініни);
- ТОВ «Іннарі Технолоджіс» (препарат «Innari», ЕМВ-12,0% + NPK + Ca + Mg + S + B + Zn + Mn + амінокислоти + ауксини + цитокініни).

Провідними виробниками PPP є корпорація FMC (Food Machinery Corporation), Dow (США), Syngenta AG (Швейцарія), BASF SE (Німеччина) і Nufarm Limited (Австралія), а найбільш відомими іноземними виробниками

добрих та біостимуляторів росту рослин з екстрактом морських водоростей (ЕМВ) у складі є:

- німецька компанія «Humintech» (препарати «Фульвігрейн Стимул», ЕМВ-10% + фульвові кислоти + N; «Фульвігрейн Сід», ЕМВ-6% + фульвові кислоти + гібереліни);
- німецька компанія «Aglucon GmbH» (добрило «Вуксал Біо», ЕМВ-50% + NPK + Ca + Mg + S + B + Zn + Mn)
- французька компанія «Arista LifeScience» (PPP «Аппетайзер», ЕМВ-95,2% + Mn + Zn);
- нідерландська компанія «Van Iperen International» (препарат «FoliaStim», ЕМВ-85% + NK + Zn + Mn);
- іспанська компанія «Atlantica» (добрило «Fitomare», ЕМВ-15% + NPK + B + Mb + амінокислоти);
- французька компанія «Terra Aquatica» (PPP «Terra Aquatica Seaweed», ЕМВ-89% + фульвові кислоти + гумінові кислоти);
- китайська компанія «Jantai Von Chemical Technologies» (PPP Фреш П, ЕМВ-75,0% + NPK + B + Cu + Zn + Mn + амінокислоти)
- канадська компанія «NEP-Canada Inc.» (PPP «БТС-Фітоспектр», ЕМВ-10,0%)
- німецька компанія «DVA Agro GmbH» (добрило «Incentia», ЕМВ-17,7% + NPK + S + B + Zn + Mn + амінокислоти)

Для дослідження впливу на продуктивність гібридів сорго зернового нами був обраний PPP «Аппетайзер» (Рис. 1.7), оскільки серед зареєстрованих агрохімікатів має найбільший вміст екстракту морських водоростей (95,2%), що дозволяє у повній мірі дослідити вплив саме цієї діючої речовини на ріст та розвиток рослин [52; 158; 178; 182]. Препарат зареєстрований від 16.09.2020, реєстраційний номер №13294 у Державному реєстрі пестицидів та агрохімікатів, дозволених до використання в Україні.

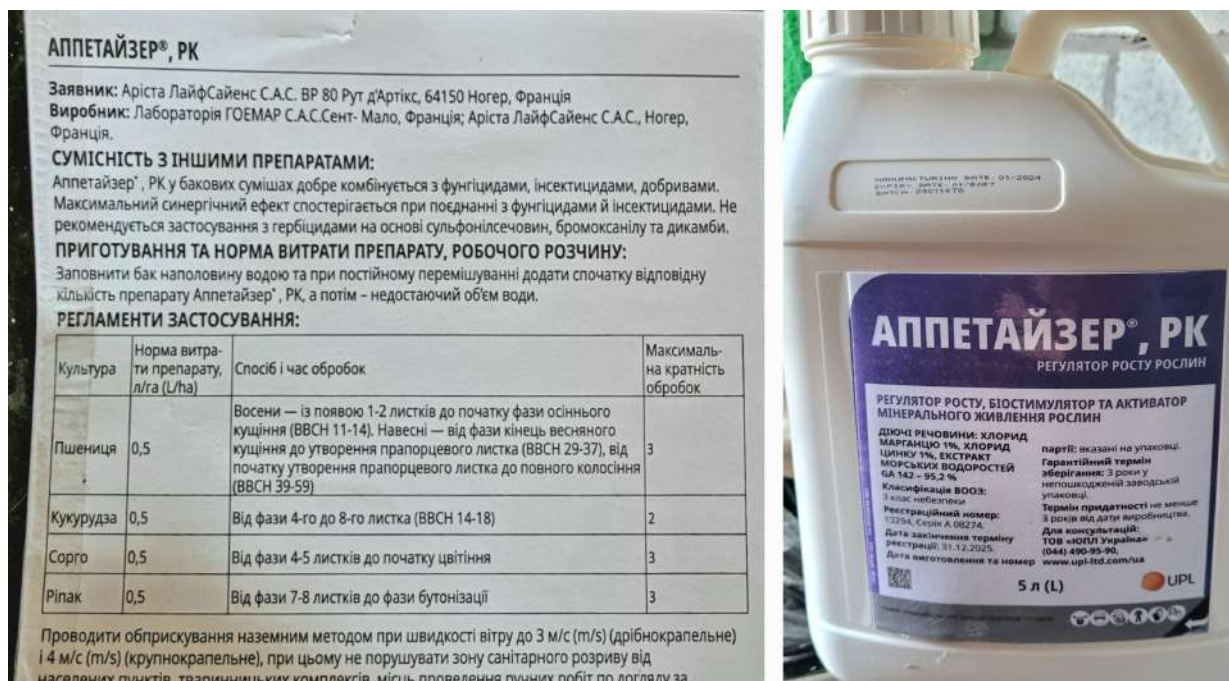


Рис. 1.7 Регулятор росту рослин «Аппетайзер»

Препаративна форма – водний розчин. До складу РРР «Аппетайзер» входять: солі марганцю (1%) та цинку (1%), а також активний фільтрат GA 142 з екстракту морських водоростей *Ascophyllum nodosum* (містить ауксини, цитокініни, бетаїни, брассіностероїди, фукоїдан та ламінарин). Згідно рекомендацій виробника, препарат у бакових сумішах добре комбінується з фунгіцидами, інсектицидами та добривами. Не рекомендується застосування препарату разом з гербіцидами на основі сульфонілсечовин, бромоксанілу, дикамби та препаратами, що мають сильно-лужну реакцію (рН-8). При цьому рекомендується проводити внесення регулятору росту з нормою витрати робочого розчину 150 л/га у вечірній час при температурі повітря в межах +15-20°C, відносній вологості повітря 20-30% та швидкості вітру 3-4 м/с.

Препарат призначений для використання шляхом наземного обприскування у період вегетації сільськогосподарських культур, таких як пшениця, ріпак, кукурудза та сорго (норма витрати препарату – 0,5 л/га, максимальна кількість обробок – 3) [15; 161]. На відміну від синтетичних хімічних речовин, біостимулятори на основі екстракту морських водоростей є екологічно безпечними, нетоксичними та не забруднюють навколишнє середовище [74; 132; 139; 168].

1.6. Аналіз вітчизняного досвіду у реалізації біологічного потенціалу сорго зернового шляхом формування оптимальної густоти посівів

Науково обґрунтований вибір елементів технології вирощування залежить від ґрунтових та агрокліматичних умов, біологічних особливостей сортів і гібридів сорго зернового. Реалізація потенціалу сучасних гібридів, як правило, є недостатньою через недостатнє приділення уваги ключовим чинникам формування урожайності, таким, як густота і рівномірність посіву, строки сівби, за дотримання яких можливо досягти оптимальної урожайності та водночас оптимізувати затрати на такі елементи технології вирощування культури, як захист від бур'янів [9; 143].

Завдяки характерній пластичності сорго зернового, на різних ділянках та у різних комбінаціях можливо досягти високих показників продуктивності. При вирощуванні в однакових умовах невеликої кількості рослин на одиниці площі сорго може інтенсивно переростати, формуючи велике за розміром зерно та високі урожаї, тоді як при загущеності посіву розміри та вага насіння з волоті зменшується, а урожайність залишається на тому ж рівні за рахунок більшої кількості волотей на одиниці площі [26; 49; 136; 148].

Однак в умовах недостатнього зволоження густота рослин та їх рівномірність має важливе значення, що впливає на мікроклімат рослин, хвороби, шкідників та забур'яненість [64]. Результати досліджень густоти сорго зернового в умовах дефіциту вологи свідчать, що зі збільшенням густоти збільшується і стрес рослин через боротьбу за водні ресурси та поживні речовини, а також зменшуються біометричні показники рослин: висота рослин, площа листкової поверхні та інші [101, 123; 180]. При недостатній густоті рослин сорго зернове формує менший врожай, але кращої якості [127; 172].

Важливим аспектом для формування оптимальної густоти рослин є визначення норми висіву насіння з урахуванням його посівних якостей,

особливостей агрокліматичних умов, строків сівби та індивідуальної чутливості сортів та гібридів сорго зернового до загущення. Так, згідно з дослідженнями Правдивої Л. А., найкращий розвиток та продуктивність сортів сорго зернового в умовах східної частини Лісостепу України були за норми висіву 200 тис.шт./га (при польовій схожості 83,2%), при якій була сформована фактична густота рослин на період повної стиглості 160 тис.шт./га [149-151].

Гирка А. Д. та інші з'ясували, що в посушливих умовах північного Степу України гібриди сорго зернового вітчизняної та іноземної селекції формують урожай на рівні 5,89 т/га за густоти стеблостою 140 тис.шт./га при ширині міжряддя 45 см; та на рівні 5,70 т/га за густоти рослин 120 тис.шт./га при ширині міжряддя 70 см [121]. Це свідчить про те, що площа живлення рослин формується не тільки за рахунок густоти рослин у посівах, а й від ширини міжряддя.

За результатами досліджень Домарацького Є. О., Базалія В. В. та Бойко М. О., найвища продуктивність сорго зернового формується за густоти рослин 180-220 тис.шт./га, при цьому відзначено важливу роль строків посіву культури: за ранніх строків сівби за температури ґрунту +8-10°C урожайність гібридів сорго становила 3,16-6,69 т/га, з за пізніх строків за температури ґрунту +14-16°C – 1,25-3,96 т/га [31].

Окрім того, Алдошин А. В. та інші застерігають, що загущення посівів є небезпечнішим, ніж зрідження, тому що сорго здатне кущитися та у деякій мірі компенсувати зрідженість стеблостою. Надмірне кущення зумовлює нерівномірність дозрівання волотей і збільшення вологості зерна [3; 129].

Отже, визначення оптимальної густоти рослин для формування високої продуктивності в умовах північного Степу України залишається сьогодні актуальним, а також потребує вивчення ефективності цього агротехнічного заходу з сучасними пластичними високопродуктивними гібридами іноземної селекції у поєднанні із застосуванням біостимуляторів.

РОЗДІЛ 2. УМОВИ, ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика ґрунтово-кліматичних умов зони проведення досліджень

Характерною особливістю зони Північного Степу України є невелика кількість схилених земель, що визначає їхню сприятливість для сільськогосподарського використання. Територія Дніпропетровської області має переважно рівнинний рельєф та характеризується помірно-континентальним кліматом. Середньорічний розподіл температур в області має широкий діапазон: зимові ізотерми змінюються з півночі на південь від $-6,2^{\circ}\text{C}$ до $-4,0^{\circ}\text{C}$, літні коливаються від $+20,5^{\circ}\text{C}$ до $22,0^{\circ}\text{C}$. Абсолютний максимум температури був зафіксований на рівні $41,0^{\circ}\text{C}$, мінімум – на рівні $-38,0^{\circ}\text{C}$. Частота переходу температур на поверхні ґрунту через 0°C становить 10-15 разів на рік.

У літній період переважають західні та північно-західні вітри, взимку – східні та північно-східні. Серед інших погодних явищ трапляються тумани (до 50 днів на рік), хуртовини (10-20 днів на рік), грози (до 25-30 разів на рік) та град (4-5 разів на рік). Для області характерні посушливі періоди навесні та у першій половині літа, підсилені сухими вітрами – суховіями.

Середньорічна кількість опадів досягає максимального значення 550 мм на північно-східній частині території області та знижується у південно—західному напрямку до 450-500мм. Найбільше опадів спостерігається у липні, найменше – у березні.

Експериментальні дослідження виконувалися протягом 2022-2024 рр. на полях ТОВ «Зоря» у селі Гаврилівка Синельниківського району Дніпропетровської області ($48^{\circ}04'39''$ пн. ш. $36^{\circ}31'39''$ сх. д.). Згідно зонального розподілення, район належить до північної частини степової зони України з недостатнім і нестійким зволоженням та посушливими погодними умовами.

Урожайність та інші показники сорго зернового характеризувалася мінливістю за роками, яка була обумовлена перш за все погодними умовами, зокрема кількістю опадів, середньомісячних температур та сумою активних температур за вегетаційний період досліджуваних років.

Температурний режим повітря за період досліджень протягом 2022-2023 років був характерним для Дніпропетровської області (Таблиця 2.1): період ефективних температур вище 15°C почався 25 квітня у 2022 році та 14 травня відповідно у 2023 році, а середньомісячні температури повітря не суттєво відрізнялися від багаторічних показників (Додаток В). Проте у 2024 році цей період почався пізно – 18 травня, що зумовило зміну строків посіву технічних культур, а також сорго зернового.

Таблиця 2.1

Метеорологічні показники середньомісячної температури повітря за період досліджень та середні багаторічні показники (1991-2020 рр.) за даними спостережень метеостанції Синельникове, °C

Місяці	2022 рік	2023 рік	2024 рік	Середні багаторічні показники
Січень	-2,5	-1,4	-2,0	-3,7
Лютий	1,6	-1,4	2,4	-2,9
Березень	0,3	5,1	4,5	2,4
Квітень	9,9	10,1	15,1	10,0
Травень	14,4	15,4	15,8	16,3
Червень	21,4	19,6	23,2	20,2
Липень	21,3	22,2	25,7	22,3
Серпень	23,9	23,5	24,8	21,7
Вересень	14,5	18,7	19,4	16,0
Жовтень	10,5	11,5	11,9	9,1
Листопад	3,9	5,2	4,1	2,5
Грудень	0,7	1,2	1,0	-1,9
Рік	10,0	10,8	12,1	9,3

Сумарна сонячна радіація у Дніпропетровській області досягає значень 4200-4400 МДж/м², радіаційний баланс становить 1800-1950 МДж/м². Сума активних температур повітря (>10°C) коливається від 2700 до 3400°C за

вегетаційний період, тривалість якого в середньому становить 185 днів на рік (Таблиця 2.2).

Таблиця 2.2

Середні багаторічні (1991-2020 рр.) та фактичні суми активних і ефективних температур повітря вище 10°C за даними спостережень метеостанції Синельникове, °C

Показники	2022 рік	2023 рік	2024 рік	Середня багаторічна $\sum t^0C > 10$
Фактична сума активних температур повітря вище 10°C	3250	3702	3832	3250
Фактична сума ефективних температур повітря вище 10°C	1451	1625	1742	1521

За кількістю опадів у Синельниківському районі за період досліджень протягом 2022-2024 років вологозабезпеченими були 2022 та 2023 роки. Так, річна кількість опадів у 2022 році досягла 610 мм, зокрема зафіксовані велика кількість опадів у квітні (84 мм), рівномірно розподілені опади протягом травня-липня (23-25 мм за місяць), та велика кількість опадів у серпні (124 мм) та вересні (52 мм). У 2023 році теж зафіксована рекордна річна кількість опадів – 618 мм. Особливо дощовими були квітень (89 мм), липень (107 мм) та листопад (115 мм) 2023 року (Таблиця 2.3).

Період досліджень 2024 року, попри пізні строки настання суми ефективних температур вище 15°C, виявився найбільш теплозабезпеченим, перевищуючи середній багаторічний показник на 17,9% за сумою активних температур та на 14,5% за сумою ефективних температур, проте характеризувався відсутністю продуктивних опадів, які є лімітуючим фактором при формуванні продуктивності сільськогосподарських культур у зоні Степу України. Сума опадів за весняно-літній період складала 40 мм

(13,8% від середніх багаторічних показників), що зумовило неоднорідні сходи на посівах технічних культур (у тому числі сорго зернового).

Таблиця 2.3

Метеорологічні показники середньомісячної кількості опадів за період досліджень та середні багаторічні показники (1991-2020 рр.) за даними спостережень метеостанції Синельникове, мм

Місяці	2022 рік	2023 рік	2024 рік	Середні багаторічні показники
Січень	23	20	56	36
Лютий	25	40	32	32
Березень	25	26	10	39
Квітень	84	89	7	41
Травень	22	36	4	51
Червень	23	31	17	69
Липень	21	107	3	48
Серпень	124	39	1	41
Вересень	52	23	8	39
Жовтень	74	37	12	38
Листопад	62	115	2	40
Грудень	75	55	47	41
Рік	610	618	199	515

Для зони Північного Степу України, де і проводилися експериментальні дослідження, характерним є висока ймовірність посух (в межах 40-70%), про що свідчить критерій зволоження територій (Таблиця 2.4), який дозволяє досить об'єктивно оцінити вологозабезпеченість та теплозабезпеченість - гідротермічний коефіцієнт (ГТК) Г.Т. Селянінова [2]. Цей показник є основним в діючій системі агрометеорологічного обслуговування в Україні. Розрахунок ГТК проводять за формулою (2.1):

$$\text{ГТК} = R / 0,1 * \sum T \quad (2.1)$$

Де R - кількість опадів за період з температурою повітря вище 10°C

$\sum T$ - сума активних температур вище 10°C.

Таблиця 2.4

Гідротермічний коефіцієнт за період досліджень та середнє багаторічне значення (1991-2020 рр.) за даними спостережень метеостанції Синельникове

Показники	2022 рік	2023 рік	2024 рік	Середня багаторічна $\sum t^{\circ}C > 10$
Фактична сума активних температур повітря вище 10°C	3250	3702	3832	3250
Сума опадів за період з температурами повітря вище +10°C	192	283	52	309
ГТК	0,59	0,76	0,13	0,95

Оцінку рівня зволоженості проводять за шкалою ГТК:

- ГТК < 0,4 – дуже сильна посуха;
- ГТК 0,4-0,5 – сильна посуха;
- ГТК 0,6-0,7 – середня посуха;
- ГТК 0,8-0,9 – слабка посуха;
- ГТК 1,0-1,5 – достатнє зволоження;
- ГТК > 1,5 – надмірне зволоження;

Розрахунки з вищенаведених метеоданих вказують на те, що за шкалою ГТК вегетаційний період 2022 року характеризувався сильною посухою, 2023 року – середньою посухою, а 2024 року – дуже сильною посухою.

Більш точна оцінка погодних умов вегетаційних періодів 2022-2024 рр. передбачає використання коефіцієнта K_c , який є показником суттєвості відхилень поточного значення від середнього багаторічного значення. Він дає змогу класифікувати місяці щодо сприятливості умов для розвитку рослин. Коефіцієнт суттєвості відхилень показників агрометеорологічного режиму років дослідження від середніх багаторічних показників за період 1991-2020 рр. (Додаток В) розраховували за формулою (2.2):

$$K_c = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad (2.2)$$

Де K_c – коефіцієнт суттєвості відхилень;

X_i – агрометеорологічні показники поточного періоду;

$\bar{X}$ – середня багаторічна величина;

σ – середнє квадратичне відхилення.

Рівень коефіцієнтів суттєвості відхилень (Таблиця 2.5) визначали за градацією:

$K_c = 0-1$ – умови, близькі до звичайних;

$K_c = 1-2$ – умови, що сильно відрізняються від середніх багаторічних;

$K_c > 2$ – умови, наближені до рідкісних.

За результатами розрахунків умови вегетаційного періоду 2022, 2023 та 2024 років суттєво відрізнялися, хоча фактор вологозабезпечення був критично обмежуючим для реалізації потенціалу рослин сорго зернового. Так, у 2022 році достатньо вологозабезпеченим був передпосівний період – у квітні кількість опадів становила 205% від середнього багаторічного значення (СБЗ), у період цвітіння та наливу зерна (серпень) кількість опадів становила 302% від СБЗ та під час дозрівання (вересень) – 133% від СБЗ.

Таблиця 2.5

Коефіцієнти суттєвості відхилень кількості опадів та середньомісячних температур за вегетаційні періоди 2022-2024 рр. від середніх багаторічних

Опади, мм				K_c		
Місяць	Середнє багаторічне	Середнє квадратичне відхилення	Середнє за місяцями	Рік		
				2022	2023	2024
Квітень	41	38	60	1,1	1,3	-0,9
Травень	51	13	21	-2,2	-1,1	-3,6
Червень	69	6	24	-8,0	-6,6	-9,1
Липень	48	45	44	-0,6	1,3	-1,0
Серпень	41	51	55	1,6	0,0	-0,8
Вересень	39	18	28	0,7	-0,9	-1,7
Температура, °C				K_c		
Місяць	Середнє багаторічне	Середнє квадратичне відхилення	Середнє за місяцями	Рік		
				2022	2023	2024
Квітень	10,0	2,4	11,7	0,0	0,0	2,1
Травень	16,3	0,6	15,2	-3,2	-1,5	-0,8
Червень	20,2	1,5	21,4	0,8	-0,4	2,0
Липень	22,3	1,9	23,1	-0,5	-0,1	1,8
Серпень	21,7	0,5	24,1	4,0	3,3	5,7
Вересень	16,3	2,2	17,5	-0,8	1,1	1,4

Переважна частина вегетаційного періоду характеризувалася недостатнім зволоженням, зокрема кількість опадів у травні становила 43%, у червні – 33%, у липні 2022 року – 44% від СБЗ.

2023 рік характеризувався достатнім вологозабезпеченням у квітні – 217%, у травні – 71%, у липні – 223% та у серпні – 95% від багаторічної суми опадів, характерних для цих місяців. Недостатньо зволеними були червень (45% опадів від СБЗ) та вересень (59% опадів від СБЗ) 2023 року.

У 2024 році спостерігався критичний дефіцит вологи протягом всього вегетаційного періоду. Найбільша кількість опадів була зафіксована у червні – 17 мм (25% від СБЗ) та у вересні – 8 мм (21% від СБЗ). У квітні 2024 року сумарна кількість опадів становила 7 мм (17% від СБЗ), а у липні та серпні фактично були відсутні продуктивні опади. Також за коефіцієнтами суттєвості відхилень показників середньомісячних температур 2024 рік характеризувався сильною спекою протягом всього літнього періоду.

Таким чином, погодні умови вегетаційних періодів 2022 та 2023 років можна охарактеризувати, як посушливі роки з недостатнім вологозабезпеченням під час проходження початкових фенологічних фаз рослин сорго зернового, у той час як 2024 рік – сильно посушливим з відсутністю продуктивних опадів.

Основними ґрунтами у зоні Степу України є чорноземи звичайні легко- та середньо-глинисті, накопичення гумусу в яких проходить за рахунок розповсюдження залишків трав'янистої рослинності. Склад і властивості чорноземів звичайних пов'язані з дерновим гумусо-аккумулятивним процесом ґрунтоутворення, який протікає в умовах помірно-теплого клімату з недостатнім зволоженням переважно на лесових породах. У гранулометричному складі лесів переважає фракція крупного пилу - понад 20%, вміст фракції мулу коливається від 5 до 30%, а піску - 1-5%. У вертикальному розрізі гранулометричний склад породи однорідний. Текстура лесів макро- і мікропориста. Загальна пористість становить 48-60%, щільність в межах 1,25-1,40 г/см³ [20].

Основними ґрунтами на полях ТОВ «Зоря» є чорноземи звичайні, на лісових породах мало- й середньо гумусні різної потужності; в долинах річок лучні ґрунти на делювіальних та алювіальних відкладах [11]. Згідно гідрологічних констант чорноземів України для зернових культур (% вологи), максимальна гігроскопічність (МВ) орного шару для сорго зернового становить 12,3%; вологість стійкого зів'язання (ВЗ) – 14,3%; найменша вологоємність (НВ) – 32,1% та діапазон активної вологи (ДАВ) – 17,8% [77]. Точкові проби (зразки) ґрунту дослідних ділянок відбирали навесні після настання активних температур повітря більше 10°C з шару ґрунту 0-30 см, після чого з 30 індивідуальних проб сформували об'єднаний зразок та визначили у лабораторії (Додаток С) агрохімічний склад ґрунту (Таблиця 2.6).

Для оцінювання забезпеченості ґрунтових запасів необхідно розрахувати кількість елементів живлення у кг/га ($\Pi_{ГЗ}$), для чого використовували формулу (2.3):

$$\Pi_{ГЗ} = \frac{h \cdot \rho \cdot n}{10}, \text{ кг/га} \quad (2.3)$$

Де h – глибина відбору зразків ґрунту, см;

ρ – об'ємна маса ґрунту, г/см³;

n – вміст елементів живлення у ґрунті, мг/кг.

Таблиця 2.6

Показники агрохімічного аналізу зразків ґрунту дослідних ділянок протягом 2022-2024 років експериментальних досліджень

№ діл., (рік)	N _{min} , мг/кг	P ¹ , мг/кг	K ¹ , мг/кг	Ca, мг- екв/ 100г	Mg, мг- екв/ 100г	S, мг/кг	Гумус, %	pH _{sol}	pH _{H2O}	Ô µS/cm
1 (2022)	31,2	68,2	243,8	20,96	2,32	9,6	4,48	6,63	7,64	128,3
2 (2023)	30,2	71,8	238,8	21,45	2,40	10,5	4,55	6,38	7,40	119,0
3 (2024)	28,0	66,2	242,4	20,81	2,23	9,3	4,50	6,46	7,49	124,4

Примітка: ¹ – за Чириковим;

Відповідно, за об'ємної маси ґрунту $1,2 \text{ г/см}^3$ на наших дослідних ділянках, ґрунтові запаси елементів живлення протягом 2022-2024 років становили у межах 100-112 кг/га мінерального азоту, 240-260 кг/га фосфору та 860-880 кг/га калію. З урахуванням 120 кг/га органічно зв'язаного азоту (здатного мобілізуватися з часом), 30 кг залишкового азоту (вбудованого у органічну речовину ґрунту) та 10 кг фіксованого азоту (з повітря) кількість загального азоту становила близько 260-270 кг/га.

Відомо, що для формування 1 т основної продукції сорго зернового з урахуванням побічної необхідно 35 кг азоту, 11 кг фосфору, 19 кг калію [138; 140; 146; 162]. При цьому для розрахунку норми удобрення використовували коефіцієнти засвоєння елементів живлення з ґрунтових запасів сорго зерновим, які за довідниковими даними становлять 0,4 для азоту, 0,15 для фосфору та 0,15 для калію; а також коефіцієнти використання елементів живлення з мінеральних добрив, які становлять 0,8 для азоту, 0,35 для фосфору та 0,85 для калію [75; 94; 135; 183]. Таким чином, визначили, що кількість доступних елементів з ґрунтових запасів для сорго зернового становила 100-105 кг/га азоту, 36-39 кг/га фосфору та 125-130 кг/га калію.

Виходячи з вищевказаних розрахунків та планового показника урожайності сорго зернового на рівні 5,0 т/га, ґрунти дослідних ділянок господарства недостатньо забезпечені азотом та фосфором, що вказувало на необхідність додаткової кількості N_{70} та P_{40} шляхом внесення комплексних добрив NP. Проте зразки ґрунту мали високий вміст мінерального азоту, калію, кальцію, магнію та органічної речовини (гумусу), яка є резервом поживних речовин.

За даними науковців, найкраще сорго росте, коли кислотність ґрунтового розчину наближена до нейтральної, але може переносити pH 8,5-9,5 [39]. Щільність ґрунту у межах $1,18-1,26 \text{ г/см}^3$ є оптимальною для нормального розвитку кореневої системи [56]. Однак рослини сорго зернового загалом сприяють розпушуванню ґрунту та зменшують щільність кореневмісного шару до $0,99-1,16 \text{ г/см}^3$ [93]. Цей ефект досягається за рахунок формування у

ґрунті потужної кореневої системи, яка забезпечує потреби рослини у вологі та поживних речовинах за умов, в яких для інших рослин це недоступно [167].

Згідно результатів аналізу зразки ґрунту характеризувалися високою сумою обмінних катіонів (Таблиця 2.7). За висновком лабораторії, порушене співвідношення кальцію та магнію могли стати причиною зменшення засвоєння калію, що згідно рекомендацій було можливо відкоригувати за рахунок внесення комплексних добрив.

Таблиця 2.7

Показники аналізу обмінних катіонів

№ діл., (рік)	Сума обмінних катіонів, мг-екв /100г	Вміст обмінних катіонів, % від суми					Характеристика
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺	
1 (2022)	31,20	68,5	7,4	0,6	2,0	<0,01	Порушене співвідношення кальцію та магнію
2 (2023)	28,76	72,4	8,0	0,7	2,4	<0,01	
3 (2024)	29,16	71,4	7,7	0,8	2,1	<0,01	

За показниками рН сольовим та рН водним зразки ґрунту відносяться до нейтральних та знаходяться в межах оптимальних значень для вирощування сорго зернового (6,0-7,5) та засвоєння ним поживних речовин. За загальним вмістом водорозчинних солей зразки ґрунту не засолені та придатні для вирощування сільськогосподарських культур.

2.1. Програма наукового дослідження. Методика проведення досліджень і особливості агротехніки

В умовах динамічних змін агрокліматичних умов, а саме глобального потепління, реалізація генетичного потенціалу сільськогосподарських культур є основною проблемою для агропромислового комплексу [104; 157]. Сьогодні дослідження науковців спрямовані на пошук сучасних економічно та екологічно обґрунтованих агротехнічних прийомів, а також пошук шляхів подолання рослинами стресових чинників.

Одним з таких сучасних заходів є застосування регуляторів росту рослин, які вважають адаптивними елементами сучасних технологій вирощування, оскільки вони забезпечують збільшення поглинання та засвоєння поживних речовин рослинами, підвищують їх продуктивність, будучи при цьому економічно вигідними. Саме це стало передумовою для вивчення продуктивності гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин та регуляторів росту рослин.

Метою нашої дослідницької роботи є теоретичне обґрунтування адаптивних технологій вирощування сорго зернового та підвищення його продуктивності за рахунок підбору гібридів, оптимальної густоти стояння рослин та застосування сучасного регулятору росту рослин «Аппетайзер».

Для реалізації мети нами були поставлені наступні завдання:

1. дослідити особливості росту та розвитку рослин, встановити дати настання фенологічних фаз та тривалість міжфазних періодів гібридів сорго зернового;
2. виявити вплив регулятору на біометричні, структурно-морфологічні показники рослин гібридів сорго зернового залежно від досліджуваних факторів;
3. визначити варіювання продуктивності та якості зерна гібридів сорго зернового в залежності від густоти стояння рослин та застосування регулятору росту;

4. розрахувати економічну та біоенергетичну ефективність технології вирощування сорго зернового за впливу факторів, що вивчаються.

Відповідно, теоретична частина програми наукового дослідження передбачала розробку схеми досліду, у яку ми включили три фактори: фактор А – це гібриди сорго зернового від компанії Lidea різних груп стиглості (ЕС Алізе, ЕС Фоен, Калатур, Албанус, ЕС Муссон); фактор В – це густота стояння рослин 170, 200 та 230 тис.шт./га; фактор С – двократне застосування регулятору росту рослин «Аппетайзер» у фазу 4-5 листків з нормою витрати 0,5 л/га та у фазу 7-8 листків з нормою витрати 0,5 л/га (Таблиця 2.8). Розміщення варіантів – систематичне розміщення 30 варіантів у три яруси (Додаток D).

Таблиця 2.8

Схема досліду

Фактор А	Фактор В	Фактор С
Гібрид	Густота стояння рослин	Регулятор росту рослин
Албанус ЕС Муссон (контроль) Калатур ЕС Фоен ЕС Алізе	170 тис.шт./га (контроль) 200 тис.шт./га 230 тис.шт./га	Вода - 0,5+0,5 л/га (контроль) PPP «Аппетайзер» - 0,5+0,5 л/га

Загальна площа дослідної ділянки (поля) – 8 га. Облікова площа ділянки варіанту – 600 м² (6*100 м), загальна – 673,2 м² (6,6*102 м). Повторність досліду чотириразова.

Агротехніка в досліді була розроблена нами відповідно до посушливих умов Степу та на основі вже досліджених раніше технологій вирощування, за винятком досліджуваних елементів. Попередник – пшениця озима. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем звичайний малогумусний (4-5%). Система основного обробітку ґрунту під зернове сорго передбачала лушення стерні дисковими робочими органами на глибину 4-5 см, основне внесення амофосу NP 11:52 з нормою витрати 120 кг/га та оранку на глибину 23-25 см. Весняний обробіток за настання фізичної стиглості ґрунту включав ранньовесняне боронування на глибину 5 см під кутом до напрямку оранки в один слід

середніми зубовими боронами БЗСС-15, культивацію на глибину 6 см та передпосівну культивацію на глибину загортання насіння.

Насіння гібридів, що використовувалося для посіву, добре виповнене та вирівняне за розміром та масою, оброблене виробником протруйником Максим XL 035 FS (КС, діюча речовина: флудиоксоніл 25 г/л + металаксил–М 10 г/л), мало схожість 80% та чистоту 98%. Строки сівби визначали відповідно до настання в ґрунті на глибині посіву температури +13-15°C. Сівбу проводили зерною сівалкою Harvest-6m з шириною міжрядь 45 см на глибину 3-4 см зі змінними нормами висіву насіння 230, 270 та 300 кг/га фізичної ваги (з розрахунку на польову схожість 75%) та припосівним внесенням амофосу NP 11:52 з нормою витрати 120 кг/га. Після сівби проводили боронування середніми зубовими боронами БЗСС-15.

Після сівби застосовували комбінований ґрунтовий та післясходовий гербіцид системної дії Толазін Ультра (СЕ, діюча речовина: S-метолахлор 468 г/л + тербутилазин 281 г/л) з нормою витрати 2,5 л/га препарату з нормою витрати робочого розчину 200 л/га.

У фазу 3-5 листків (при появі підгризаючої совки) на посівах сорго зернового застосовували двокомпонентний інсектицид контактно-кишкової дії Шаман (КЕ, діюча речовина: хлорпірифос 500 г/л + циперметрин 50 г/л) з нормою витрати 2,5 л/га з прилипачем Тесталип (норма витрати 200 г/га) з нормою витрати робочого розчину 150 л/га.

Також у фазу 3-5 листків на посіві сорго зернового застосовували бакову суміш системного гербіциду Цитадель (МД, діюча речовина: пенокссулам, 25 г/л) з нормою витрати 0,8 л/га проти берізки польової, осоту рожевого та амброзії полинолистій, інсектициду системно-контактної дії Канонір Дуо (КС, діюча речовина: імідаклопрід, 300 г/л + лямбда-цигалотрин, 100 г/л) з нормою витрати 150 мл/га проти лучного метелика та попелиць, рідкого фосфорно-калійного добрива Нертус Мікс Кафос (Р, діюча речовина: P_2O_5 (фосфор у формі фосфіту PO_3), 30 г/л; калій (K_2O), 20 г/л; карбонові та амінокислоти, 1

г/л) з нормою витрати 0,5 л/га та прилипача Тесталип (норма витрати 200 г/га) з нормою витрати робочого розчину 150 л/га.

У фазу 4-5 листків на варіантах дослідів вносили РРР «Аппетайзер» (ВР, діюча речовина: екстракт морських водоростей (GA-142) – 952 г/л) з нормою витрати 0,5 л/га з нормою витрати робочого розчину 150 л/га. Для забезпечення якісного внесення препарату відповідно до рекомендацій виробника використовували інжекторні двохфакельні форсунки IDKT 04 з розміром крапель 350-480 МОД μm .

У фазу 7-8 листків проводили комплексну обробку системним гербіцидом Дисулам (СЕ, діюча речовина: 2,4 Д-2-етилгексильовий ефір, 452,42 г/л + флорасулам, 6,25 г/л) з нормою витрати 0,5 л/га, контактним-системним інсектицидом Еміприд (ВГ, діюча речовина: емаектин бензоат, 40 г/л + ацетаміприд, 60 г/л + біфентрин, 30 г/л) з нормою витрати 0,2 кг/га, рідким фосфорно-калійним добривом Нертус Мікс Кафос (Р, діюча речовина: P_2O_5 (фосфор у формі фосфіту PO_3), 30 г/л; калій (K_2O), 20 г/л; карбонові та амінокислоти, 1 г/л) з нормою витрати 0,5 л/га та прилипачем Тесталип (норма витрати 200 г/га) з нормою витрати робочого розчину 150 л/га.

Окремо від бакосуміші у фазу 7-8 листків на варіантах дослідів застосовували РРР «Аппетайзер» з нормою витрати 0,5 л/га з нормою витрати робочого розчину 150 л/га. Внесення проводили у вечірній час при температурі повітря в межах $+15-20^\circ\text{C}$, відносній вологості повітря 20-30% та швидкості вітру 3-4 м/с.

При настанні фізіологічної стиглості на посівах сорго зернового застосовували десикант Альфа-Дикват Форте (РК, діюча речовина: дикват дибромід, 300 г/л) з нормою витрати 1,25 л/га з нормою витрати робочого розчину 150 л/га.

У дослідженнях використовували наступні методи: польовий – спостереження за фенологічними фазами росту та розвитку культури, формування урожайності; лабораторний – визначення якісних показників зерна сорго зернового; математично-статистичний – для оцінювання

достовірності отриманих даних; порівняльно-розрахунковий – для визначення економічної та біоенергетичної ефективності досліджуваних факторів у технології вирощування сорго зернового.

У дослідженнях протягом 2022-2024рр. проводились наступні обліки, спостереження та аналізи:

1. Фенологічні спостереження за рослинами сорго проводили за методикою держкомісії з сортовипробування сільськогосподарських культур. Початок кожної фази росту і розвитку встановлювали після настання її у 10% рослин, масові значення – у 75% рослин.

2. Густоту рослин визначали два рази за вегетацію на одних і тих самих фіксованих ділянках, які виділили після появи сходів. Перший підрахунок проводили у фазу повних сходів, другий - перед збиранням урожаю. За даними першого обліку визначали фактичну польову схожість насіння і формували густоту згідно схеми досліду, а другого – збереженість рослин за вегетаційний період. Підрахунок проводили шляхом підрахунку рослин на 22,22 метрі погонному рядка в 3 місцях по діагоналі ділянки з наступним перерахунком на 1 га.

3. Масу 1000 насінин, лабораторну схожість встановлювали за ДСТУ 4138-2002 [32]. Польову схожість насіння визначали після повних сходів, відношенням числа насіння, що зійшло, до висіяного, виражене у відсотках.

4. Висоту рослин та площу асиміляційної поверхні листків визначали у досліджувані фази росту та розвитку рослин сорго зернового шляхом вимірювання на закріплених маркерами 100 рослинах на двох несуміжних рядках. Висоту рослин вимірювали до фази цвітіння – від поверхні ґрунту до вершини самого довгого (витягнутого) листка, після фази викидання волоті – від поверхні ґрунту до верхньої кінцівки волоті.

5. Площу асиміляційної поверхні листків визначали методом «висічок» у основні фази росту та розвитку рослин сорго зернового. Враховували площу тільки у фізіологічно повноцінних листків. Кількість відібраних зразків рослин – 10 шт. в дворазовому повторенні.

Фотосинтетичний потенціал визначали за формулою (2.4):

$$\Phi\P = \frac{(L_1+L_2)}{2} * T, \quad (2.4)$$

де $\Phi\P$ – фотосинтетичний потенціал, тис.м²/га*діб;

L_1, L_2 – площа листкової поверхні у відповідні фази розвитку, тис.м²/га;

T – тривалість міжфазного періоду, діб.

Показник чистої продуктивності фотосинтезу дозволяє врахувати не лише темпи утворення органічної речовини на одиницю листкової поверхні, але і її втрати в результаті процесів дихання, відмирання листків протягом вегетації. Чисту продуктивність фотосинтезу посівів розраховували за формулою Кідда-Веста-Бріггса (2.5):

$$\text{ЧПФ} = \frac{(B_2-B_1)}{0,5*(L_1+L_2)*T}, \quad (2.5)$$

де ЧПФ чиста продуктивність фотосинтезу, г/м² за добу;

B_1, B_2 – величина сухої біомаси рослин на початку і в кінці облікового періоду, г/м²;

L_1, L_2 – площа листкової поверхні у відповідні фази розвитку, тис.м²/га;

T – тривалість міжфазного періоду, діб.

Для визначення ЧПФ проби рослин відбирали у період настання основних фаз розвитку рослин. Для визначення сухої біомаси відбирали 10 зразків. Відібрані рослини подрібнювали, наважку зразків кожної рослини висушували у бюксах з кришкою у відкритому вигляді до сталої маси при температурі +100-105°C у сушильній печі ПЧМЦ (прилад Чижової модернізований цифровий). Потім їх зважували, визначали середнє значення зразків та перераховували у г/м² відповідно до варіантів густоти посівів сорго зернового.

6. Коефіцієнт використання рослинами фотосинтетичної активної радіації (ФАР) визначали за допомогою довідникових матеріалів для південно-кліматичної зони України, до якої відноситься Дніпропетровська область. Сумарні надходження ФАР розраховували за міжфазні періоди сорго зернового. У Дніпропетровській області середньомісячне надходження ФАР

становить у травні – 31,84, у червні – 33,93, у липні – 34,77, у серпні - 30,16, у вересні – 21,78 кДж/см².

7. Елементи структурно-морфологічних показників урожайності досліджувалися по 10 типових рослинах, відібраних із кожної ділянки. Визначалися довжина волоті, маса зерна у волоті та маса 1000 зерен.

8. Урожайність зерна сорго зернового визначали шляхом збирання зерна з кожної ділянки комбайном NewHolland CX 5040 з зерною жаткою та зважування тари на автомобільних підкладних вагах на 4 платформи з наступним перерахунком на стандартну вологість (14%) і чистоту (100%). Перерахунок величини урожаю на базисну вологість проводили за формулою (2.6):

$$Y_6 = Y_{\phi} * \frac{100 - B_{\phi}}{100 - B_6}, \quad (2.6)$$

Де Y_6 – урожай зерна при базовій вологості, т/га;

Y_{ϕ} – урожай зерна при фактичній вологості, т/га;

B_{ϕ} – вологість зерна під час збирання урожаю, %;

B_6 – базисна вологість зерна, %.

При збиранні врожаю молотильний апарат комбайна виключали після обмолоту кожної ділянки, вивантажували все зерно у тару (причіп на автомобільних підкладних вагах на 4 платформи), після чого його зважували і відбирали проби для визначення вологості, чистоти, маси 1000 зерен, натурі та інших показників якості зерна.

Також проводили облік урожайності побічної продукції сорго зернового за відношенням маси соломи до зерна. Для цього відбирали снопи з площі 1 м² на кожній ділянці, зважували їх, після обмолочення вручну зважували зерно, та за різницею між масою пробних снопів та зерна визначали масу соломи з польовою вологістю. Далі в лабораторних умовах визначали фактичну вологість соломи шляхом висушування подрібнених зразків з пробних снопів у бюксах з кришкою у відкритому вигляді до сталої маси при температурі +100-105°C у сушильній печі ПЧМЦ (прилад Чижової модернізований цифровий).

Для визначення урожайності соломи при стандартній вологості (16%), урожайність фактичної вологості при збиранні перемножували на перевідний коефіцієнт, що визначається за формулою (2.7):

$$k = \frac{(100 - B)}{(100 - W)} \quad (2.7)$$

Де k – перевідний коефіцієнт;

B – фактична вологість, %;

W – стандартна вологість, %.

Статистичну обробку результатів досліджень (вимірювання, визначення, облік урожайності) проводили за методикою дисперсійного аналізу даних багатофакторних дослідів з використанням комп'ютерного програмного забезпечення Microsoft Excel та Statistica 6.0 [59].

9. Відбір проб для визначення якісних показників зерна сорго зернового здійснювали відповідно до державного стандарту ДСТУ 4138-2002 [33]. Вміст білку визначали за допомогою методу К'ельдаля шляхом руйнування органічної речовини сірчаною кислотою у присутності каталізатора, а вміст крохмалю – за допомогою поляриметричного методу (за Еверсом) розчинення у гарячому розчині соляної кислоти з подальшим вивченням на поляриметрі (цукромірі «СУ-2») [34; 36]. Натуру зерна сорго зернового визначали за допомогою літрової пурки ПХ-1 з трикратним повторенням з точністю до 1,0 г відповідно до методики визначення натури зерна за ДСТУ ГОСТ 10840:2019 [35].

10. Економічну ефективність досліджуваних елементів технології вирощування сорго зернового проводили за методикою оцінки завершених наукових досліджень [37; 95]. Виробничі витрати склалися з технологічних операцій, що застосовували у досліді, а також добрив, насіння, пестицидів, паливно-мастильних матеріалів (витрати та вартість основної продукції визначали за цінами придбання та реалізації). За визначеними витратами і фактичним урожаєм розраховували собівартість та рівень рентабельності.

11. Витрати енергії на виконання основних агротехнічних операцій по догляду та елементів технології вирощування сорго зернового визначались відповідно до технологічних карт. Згідно рекомендацій щодо визначення біоенергетичної ефективності за методичними вказівками Ю.О. Тараріко, М.М. Городнього, А.Г. Сердюка, В.П. Каленського, В.М. Макаренка, В.Е. Розстального, Л.І. Мазуркевича, Н.Я. Яригіної всі витрати на технологію вирощування культури мають енергетичний еквівалент. Використання енергетичних еквівалентів дає можливість оцінити працю та матеріально-технічні засоби в одиницях єдиного показника та за його допомогою визначити відсоток вкладу кожного елемента у формування урожаю. Тому витрати на роботу машин, насіння, добрива, пестициди, паливно-мастильні матеріали, людську працю розраховуються в одній системі одиниць [85].

Кількість енергії, яка накопичується з урожаєм та кількість енергії, що витрачається на вирощування сорго зернового вираховували в гігаджоулях (ГДж). Підсумком біоенергетичного аналізу є визначення співвідношення кількості отриманої енергії з урожаєм до кількості енергії, яка була витрачена на виробництво, збирання та післязбиральну обробку урожаю.

Це співвідношення виражається коефіцієнтом біоенергетичної ефективності (K_{ee}) за формулою (2.8).

$$K_{ee} = \frac{E_B}{E_0}, \quad (2.8)$$

де K_{ee} – коефіцієнт біоенергетичної ефективності;

E_B – енергія, отримана з урожаєм;

E_0 – загальні витрати енергії на вирощування культури.

З енергетичної точки зору технологію можна вважати ефективною, якщо при плановому рівні урожайності сільськогосподарської культури виконується умова $E_B > E_0$, тобто $K_{ee} \geq 1,0$ [60].

РОЗДІЛ 3. АГРОЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ І РОЗВИТКУ ГІБРИДІВ СОРГО ЗЕРНОВОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ГУСТОТИ СТОЯННЯ РОСЛИН ТА ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЯТОРУ РОСТУ РОСЛИН «АППЕТАЙЗЕР»

3.1. Вплив досліджуваних факторів на фенологічні показники гібридів сорго зернового

Фенологічні фази росту та розвитку рослин відображають їхні зовнішні морфологічні зміни, які залежать від певних умов (температура повітря, світло, волога, елементи живлення та інші). Для досягнення кожної з фенологічних фаз рослина має отримати певну кількість тепла, вологи та світла, а тривалість проходження кожної фази у сукупності формує тривалість вегетаційного періоду культури. Показник тривалості вегетаційного періоду гібридів сорго зернового є одним із ключових, що характеризує потенціал продуктивності рослин в умовах дефіциту вологи, характерного для посушливої зони Степу. Він дає змогу провести агротехнічну оцінку гібриду та розробити технологічну карту відповідно до умов вирощування з розрахунком оптимальних строків сівби, обробок посівів та збирання урожаю, а також оптимізувати виробничі процеси вирощування.

Згідно даних Малярчука В. М., існує пряма залежність між урожаєм і сумою температур за вегетаційний період [78], тому більш пізні за групою стиглості гібриди мають більший потенціал продуктивності за нормальних умов, а ранньостиглі – перевагу у стійкості та формуванні урожаю за дії несприятливих чинників.

Так, у польових дослідях протягом 2022-2024рр. нами були випробувані та досліджувалися гібриди сорго зернового різних груп стиглості. До ранньостиглих гібридів належав Албанус; до середньо-ранніх – ЕС Калатур, Фоен та ЕС Муссон; до пізньостиглих – ЕС Алізе.

Під час проведення досліджень ми фіксували дати настання фенологічних фаз росту та розвитку рослин сорго зернового (Додаток Е), а потім розраховували тривалість міжфазних періодів (Додаток F) та тривалість вегетаційного періоду культури (Таблиця 3.1).

Таблиця 3.1

Тривалість вегетаційного періоду рослин гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин та регулятору росту (за 2022-2024 рр. та середнє за роки досліджень)

Густота стояння рослин, тис.шт./га	РРР	Гібрид	Роки досліджень			
			2022	2023	2024	Середнє
170 (К)	Контроль	Албанус	94	101	103	99
		ЕС Муссон (К)	91	99	108	99
		Калатур	105	106	110	107
		ЕС Фоен	108	111	111	110
		ЕС Алізе	116	114	117	116
	РРР	Албанус	96	103	105	101
		ЕС Муссон (К)	93	101	115	103
		Калатур	107	108	112	109
		ЕС Фоен	110	113	113	112
		ЕС Алізе	118	116	119	118
200	Контроль	Албанус	93	99	100	97
		ЕС Муссон (К)	90	97	107	98
		Калатур	104	105	108	106
		ЕС Фоен	107	109	110	109
		ЕС Алізе	115	114	115	115
	РРР	Албанус	95	102	102	100
		ЕС Муссон (К)	92	100	108	100
		Калатур	106	107	110	108
		ЕС Фоен	109	112	112	111
		ЕС Алізе	117	115	117	116
230	Контроль	Албанус	91	98	98	96
		ЕС Муссон (К)	88	96	105	96
		Калатур	102	104	106	104
		ЕС Фоен	105	108	108	107
		ЕС Алізе	113	113	113	113
	РРР	Албанус	92	101	99	97
		ЕС Муссон (К)	89	99	106	98
		Калатур	103	107	107	106
		ЕС Фоен	106	111	109	109
		ЕС Алізе	114	115	114	114

Так, у середньому за період досліджень сходи гібридів сорго зернового були зафіксовані через 12-14 діб після посіву, наступна фаза 3-5 листків настала через 8 діб у гібрида ЕС Фоен, 9 діб – у гібридів Калатур, Албанус та ЕС Муссон; а через 10 діб – у гібрида ЕС Алізе на всіх варіантах дослідження. Відсутність варіативності тривалості між варіантами, ймовірно, була зумовлена низькою конкурентністю рослин за ресурси на ранніх етапах розвитку сорго зернового.

Настання фази 7-8 листків у рослин характеризувалося мінливістю за всіма досліджуваними факторами: з характерним скороченням тривалості міжфазного періоду через загушення посівів та продовженням в окремих гібридів через застосування регулятора росту. Так, у ранньостиглого гібрида Албанус фаза 7-8 листків настала через 14-17 діб залежно від густоти рослин та застосування PPP; у середньо-ранніх гібридів Калатур, ЕС Фоен та ЕС Муссон – через 13-17 діб; у пізньостиглого ЕС Алізе – через 14-17 діб.

Фаза 10 листків настала у середньо-раннього гібриду Калатур через 16 діб на всіх варіантах, невеликою мінливістю характеризувалося настання цієї фази на варіантах й у середньо-ранніх гібридів ЕС Фоен (16-17 діб) та ЕС Муссон (15-16 діб), а також у ранньостиглого гібриду Албанус – 15-16 діб. У пізньостиглого гібрида ЕС Алізе настання фази зафіксоване через 17-18 діб, залежно від густоти рослин.

Фаза викидання волоті настала через 12 днів у ранньостиглого гібриду Албанус незалежно від густоти рослин та застосування PPP; через 13-15 днів – у середньо-ранніх гібридів Калатур та ЕС Фоен на всіх варіантах, через 10-11 днів – у середньо-раннього гібриду ЕС Муссон та пізньостиглого ЕС Алізе.

Настання фази цвітіння на всіх варіантах було зафіксовано через 9-11 днів після попереднього без суттєвої різниці між гібридами, а фаза молочно-воскової стиглості настала через 14-17 днів у всіх гібридів сорго залежно від густоти рослин та застосування регулятора росту рослин.

Суттєва різниця між варіантами спостерігалася при настанні фази повної стиглості: у ранньостиглого гібриду Албанус повна стиглість настала через 21-

23 дні залежно від густоти рослин та застосування РРР «Аппетайзер»; у середньо-стиглих гібридів Калатур, ЕС Фоен та ЕС Муссон фаза настала через 23-29 днів на варіантах контролю, та через 24-31 днів на варіантах із застосуванням регулятору росту.

Подовження проходження фенологічних фаз дозволяє збільшити споживання сонячної енергії (ФАР), тим самим сформувати більше сухої речовини у процесі фотосинтезу, а отже потенційно дозволяє збільшити урожайність сорго зернового.

Наведені дані за 2022-2024 роки свідчать, що обидва досліджувані показники залежали в основному від погодних умов, а також групи стиглості гібридів, густоти стояння рослин та застосування регулятору росту «Аппетайзер». Значення тривалості вегетаційного періоду у ранньостиглого гібриду Албанус коливалося в межах 96-101 доби, у середньо-ранніх гібридів Калатур, ЕС Фоен та ЕС Муссон – від 96 до 112 діб; у пізньостиглого гібриду ЕС Алізе – від 113 до 118 діб.

Так, за розподілом по гібридам найдовша тривалість вегетаційного періоду була зафіксована у гібриду ЕС Алізе на варіантах застосування РРР «Аппетайзер»: при густоті стояння рослин (ГСР) 170 тис.шт./га – 118 діб, 200 тис.шт./га – 116 діб, 230 тис.шт./га – 114 діб; найкоротшу тривалість вегетаційного періоду спостерігали у гібридів Албанус та ЕС Муссон на варіантах контролю (при ГСР 170 тис.шт./га – 99 діб; при ГСР 200 тис.шт./га – 97 та 98 діб відповідно; при ГСР 230 тис.шт./га – 96 діб). Тривалості вегетаційного періоду всіх гібридів скорочувалися за ГСР 170, 200 та 230 тис.шт./га на 1-3 доби. Також було встановлено, що залежно від гібриду, тривалість вегетаційного періоду сорго зернового за застосування РРР «Аппетайзер» збільшувалася на 1-3 доби на всіх варіантах дослідів залежно від гібриду та густоти рослин.

3.2. Аналіз біометричних параметрів росту та розвитку рослин сорго зернового залежно від гібриду, густоти стояння рослин та застосування регулятора росту рослин «Аппетайзер»

Висота рослин є одним з основних біометричних параметрів росту та розвитку рослин, який формує освітленість рослин у посіві, забезпечує аерацію посівів, їх конкурентоспроможність по відношенню до забур'яненості та дає можливість зберегти запаси вологи у ґрунті. Цей показник досягає максимального значення у фазу цвітіння (Рис. 3.2), і є одним із ключових факторів, що впливає на продуктивність асиміляційних процесів.

У Таблиця 3.2 нами представлені облікові дані середньої висоти рослин гібридів сорго зернового залежно від досліджуваних факторів у середньому за роки досліджень, а у перерізі окремих років – містить Додаток G. Аналізуючи наведені дані, можна зробити висновок, що за показником висоти рослин досліджувані гібриди мало відрізняються одне від одного – у межах 93-111 см на варіантах контролю (вода) та на рівні 98-115 см на варіантах застосування регулятора росту рослин «Аппетайзер». У досліді встановлена чітка закономірність, згідно якої висота рослин всіх гібридів сорго зернового зменшувалась зі збільшенням густоти стояння рослин і мала найбільші значення при густоті стояння 170 тис.шт./га та найменші при густоті стояння 230 тис.шт./га. У середньому зі збільшенням густоти стояння рослин з 170 до 230 тис.шт./га на ділянках контролю (вода) середня висота рослин сорго зменшувалася на 5,4 см, у той же час на ділянках застосування РРР «Аппетайзер» – на 5,6 см. Однак застосування регулятора росту на всіх варіантах густоти стояння рослин сприяло збільшенню показника висоти рослин: при густоті стояння рослин 170 тис.шт./га – на 4,2 см; при густоті стояння рослин 200 тис.шт./га – на 4,4 см; при густоті стояння рослин 230 тис.шт./га – на 4,0 см.

Збільшення середньої висоти рослин сорго гібриду Калатур на ділянках застосування РРР «Аппетайзер» у порівнянні з контролем склало з 101,7 до

106 см (+ 4,3 см), ЕС Алізе – з 108,3 до 111,3 см (+ 3,0 см), ЕС Фоен – з 107,3 до 111,7 см (+ 4,4 см), Албанус – з 102,0 до 106,0 см (+ 4,0 см), ЕС Муссон – з 97,0 до 102,3 см (+ 5,3 см).

Таблиця 3.2

Висота рослин гібридів сорго зернового в залежності від густоти стояння рослин та регулятору росту рослин, см (середнє за 2022-2024 рр.)

Гібрид (Фактор А)	Густота стояння рослин, тис.шт./га (Фактор В)		
	170 (К)	200	230
Контроль (вода) – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)			
Албанус	104	102	100
ЕС Муссон (К)	101	97	93
Калатур	104	102	99
ЕС Фоен	110	107	105
ЕС Алізе	111	108	106
Регулятор росту рослин - 0,5+0,5 л/га (Фактор С)			
Албанус	109	106	103
ЕС Муссон (К)	106	103	98
Калатур	108	106	104
ЕС Фоен	115	111	109
ЕС Алізе	113	112	109
НІР ₀₅ , см	А	1,76	
	В	1,36	
	С	1,12	
	АВ	3,04	
	ВС	2,48	
	АС	1,92	
	АВС	4,30	

Максимальне значення показника висоти рослин сорго зернового за період досліджень був зафіксований нами у гібриду ЕС Фоен при густоті стояння рослин 170 тис.шт./га при застосуванні РРР «Аппетайзер» - 121 см (2022 та 2023 роки); найменше значення - у гібриду ЕС Муссон при густоті стояння рослин 230 тис.шт./га на варіантах контролю – 78 см (2024 рік).

Згідно результатів дисперсійного аналізу даних 2022-2024 років, частка впливу досліджуваних факторів (Рис. 3.1) становила у факторній сумі квадратів: для фактору А (гібрид) – 59,20%; для фактору В (густина стояння рослин) – 21,39%; для фактору С (застосування регулятору росту рослин) –

16,86%; а при взаємодії факторів АВ, ВС, АС та АВС була відсутня суттєва різниця ($F_{\text{факт.}} < F_{\text{теорет.}}$).

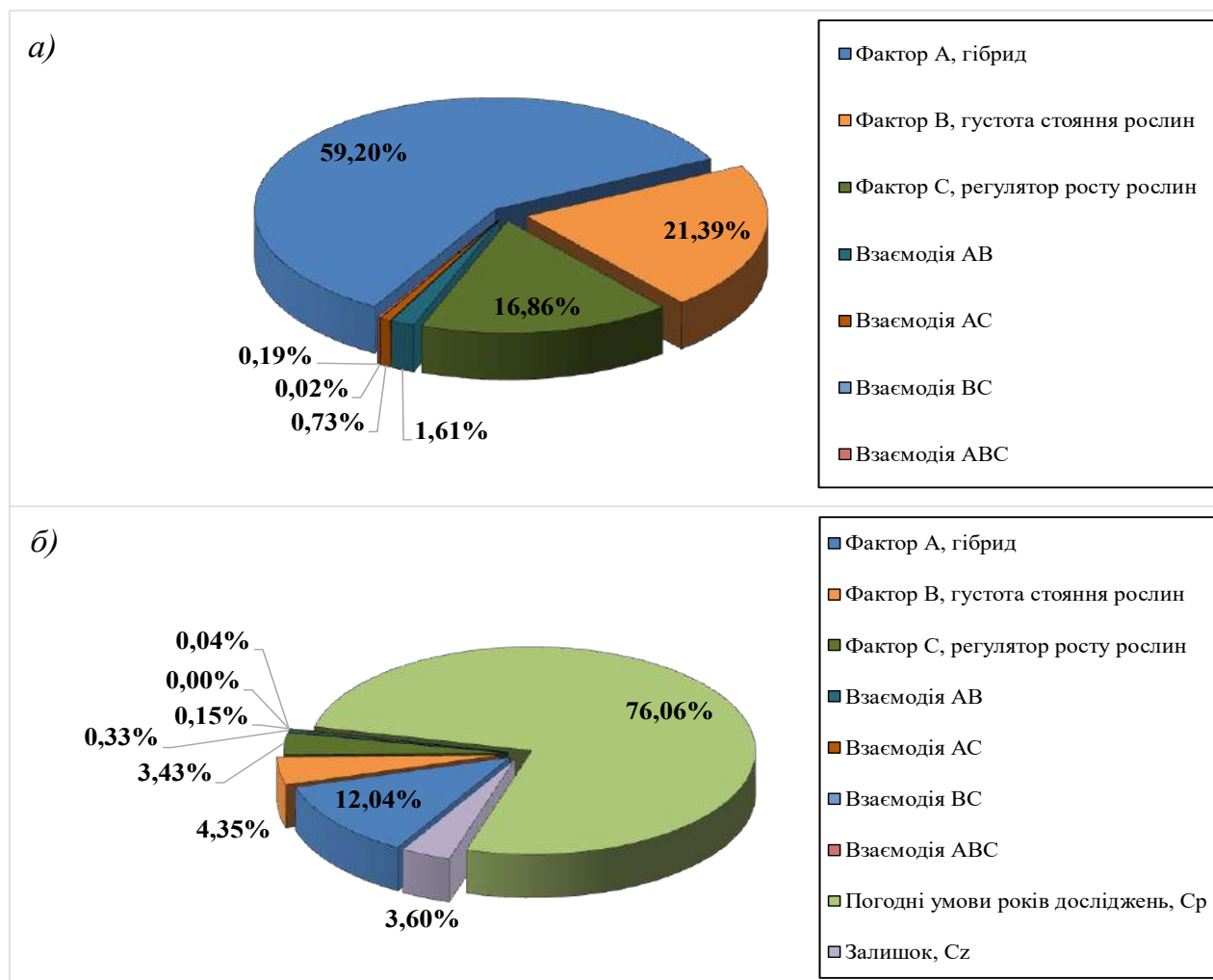


Рис. 3.1. Вплив досліджуваних факторів та їх взаємодія на висоту рослин сорго зернового за результатами дисперсійного аналізу (середнє за 2022-2024 рр.), %: а) факторна сума квадратів; б) загальна сума квадратів

Натомість за роки досліджень у загальній сумі квадратів вплив факторів А, В та С зменшився до 12,04%, 4,35% та 3,43% відповідно, та 76,06% впливу припадало на повторення. Отже, це свідчить про те, що головним чином на формування висоти рослин сорго зернового впливав генетичний потенціал гібридів, який окрім коригуючих факторів густоти стояння рослин та регулятору росту рослин, був залежний від ґрунтово-кліматичних умов вегетаційного періоду відповідних років.



Рис. 3.2 Дослідження показника середньої висоти рослин гібридів сорго зернового у фазу цвітіння

Відомо, що формування великої асиміляційної поверхні та її збереження для максимального використання фотосинтетичної активної радіації (ФАР) безпосередньо впливає на потенціал біологічної продуктивності сільськогосподарських культур через продуктивність фотосинтезу, тому розміри листової поверхні рослин та її динаміка росту відіграють вирішальну роль у досягненні кінцевого результату [14; 24; 99; 102; 170; 177; 188].

За схемою нашого досліджу ми досліджували дії та взаємодії трьох факторів (А – гібриди сорго зернового; В – густота стояння рослин; С – двократне застосування регулятора росту рослин «Аппетайзер» у фазу 4-5 листків з нормою витрати 0,5 л/га та у фазу 7-8 листків з нормою витрати 0,5 л/га) на формування листової поверхні.

Площу листя визначали методом вагових вимірювань висічок, порівнюючи фактичну масу листків та масу стандартної висічки. Під час вимірювань застосовували висічки діаметром 3 см (під час проходження рослинами фенологічних фаз виходу в трубку, викидання волоті, цвітіння,

повної стиглості). Робили по 10 стандартних висічок і зважували їх. Потім відрізали всі листові пластинки з рослин і теж їх зважували. Площу листків з рослин визначали за формулою (3.1):

$$S_p = m_2 * 70,68 / m_1, \quad (3.1)$$

де S_p – площа листа однієї рослини, см^2

m_1 – маса 10 висічок, г

m_2 – маса листа з 1 рослини, г

70,68 – площа 10 висічок, см^2

Розрахунок площі листової поверхні гібридів сорго зернового проводили за допомогою добутку значень площі листа однієї рослини та густоти стояння рослин з переведенням у загальноприйнятні одиниці вимірювання (тис. $\text{м}^2/\text{га}$). Результати досліджень та аналіз даних представлені у Таблиця 3.3.

За результатами досліджень, в період настання у рослин фази виходу в трубку найбільша площа листової поверхні зафіксована у варіантах гібридів сорго зернового ЕС Фоен (14,2 тис. $\text{м}^2/\text{га}$), ЕС Алізе (14,1 тис. $\text{м}^2/\text{га}$) та Калатур (14,0 тис. $\text{м}^2/\text{га}$) за густоти стояння рослин 200 тис.шт./га та застосування РРР «Аппетайзер», поруч з яким результати варіантів контролю досліджуваних гібридів мали суттєву різницю (13,2-13,5 тис. $\text{м}^2/\text{га}$). При густоті стояння рослин 170 тис.шт./га спостерігалася значно менша площа листової поверхні: 11,0-11,9 тис. $\text{м}^2/\text{га}$ на варіантах контролю, та 11,4-12,2 тис. $\text{м}^2/\text{га}$ при застосуванні РРР, проте збільшення норми висіву до досягнення густоти стояння рослин 230 тис.шт./га не призвело до суттєвого підвищення площі листової поверхні рослин, натомість незалежно від гібриду та густоти стояння рослин застосування досліджуваного регулятора росту рослин «Аппетайзер» сприяло збільшенню площі асиміляційного апарату сорго зернового, оскільки на всіх варіантах застосування РРР був приріст [176].

Таблиця 3.3

Формування листкової поверхні гібридів сорго зернового залежно від досліджуваних факторів (середнє за період досліджень 2022-2024рр.),

тис.м²/га

Гібрид	ГСП, тис.шт./га	Регулятор росту рослин	Фази розвитку рослин			
Фактор А	Фактор В	Фактор С	ВТ	ВВ	Ц	ВС
Албанус	170 (К)	Контроль	11,2	20,5	25,2	17,4
		PPP	11,5	21,0	25,8	17,9
	200	Контроль	13,3	21,3	26,2	18,1
		PPP	13,6	21,8	26,8	18,5
	230	Контроль	13,6	21,5	26,4	17,2
		PPP	13,8	21,9	26,9	17,3
ЕС Муссон (К)	170 (К)	Контроль	11,0	20,7	25,5	17,2
		PPP	11,4	21,2	26,1	17,5
	200	Контроль	13,2	21,2	26,1	18,0
		PPP	13,6	21,8	26,8	18,3
	230	Контроль	13,3	21,9	26,9	16,5
		PPP	13,5	22,1	27,2	16,8
Калатур	170 (К)	Контроль	11,7	21,0	25,8	17,9
		PPP	12,0	22,2	27,3	18,7
	200	Контроль	13,5	23,2	28,5	19,6
		PPP	14,0	23,8	29,3	20,1
	230	Контроль	13,4	23,7	29,2	19,0
		PPP	13,6	23,9	29,4	19,1
ЕС Фоен	170 (К)	Контроль	11,7	21,4	26,3	17,1
		PPP	12,1	22,0	27,1	18,2
	200	Контроль	13,5	23,9	29,4	20,4
		PPP	14,2	24,3	29,9	20,6
	230	Контроль	13,6	24,1	29,6	19,3
		PPP	13,9	24,3	29,9	19,4
ЕС Алізе	170 (К)	Контроль	11,9	21,6	26,6	18,4
		PPP	12,2	22,2	27,3	18,9
	200	Контроль	13,5	24,5	30,1	20,8
		PPP	14,1	24,8	30,5	21,1
	230	Контроль	13,8	24,6	30,3	19,7
		PPP	14,0	24,8	30,5	19,9

Примітка: ВТ-Вихід у трубку; ВТ-Викидання волоті; Ц-Цвітіння; ВС-Воскова стиглість

В період настання у рослин фази викидання волоті найбільша площа асиміляційного апарату зафіксована у варіантах гібридів сорго зернового ЕС Алізе (24,8 тис. м²/га), ЕС Фоен (24,3 тис. м²/га) та Калатур (23,8 тис. м²/га) за густоти стояння рослин 200 тис.шт./га та 230 тис.шт./га при застосуванні PPP

«Аппетайзер». Показники варіантів контролю за вищезгаданих значень густоти досліджуваних гібридів майже не відрізнялися, проте суттєва різниця між контролем та застосуванням РРР спостерігалася на варіантах з густотою стояння рослин 170 тис.шт./га.

У фазу цвітіння найбільша площа листкової поверхні зафіксована у варіантах гібридів сорго зернового ЕС Алізе (30,5 тис. м²/га), ЕС Фоен (29,9 тис. м²/га) та Калатур (29,3-29,4 тис. м²/га) за густоти стояння рослин 200 та 230 тис.шт./га зі застосуванням РРР «Аппетайзер». Поряд зі зростанням щільності агроценозу відбувалося зменшення площі живлення однієї рослини, тому збільшення загальної площі листкової поверхні відбувається за рахунок кількості рослин на одиниці площі.

До фази воскової стиглості зерна на всіх варіантах загальна площа листків знижувалася, проте на ділянках з густотою стояння рослин 230 тис.шт./га зафіксоване більш динамічне зменшення площі листкової поверхні усіх досліджуваних гібридів – на 8% більше порівняно з іншими варіантами. Це свідчить про ослаблення рослин сорго зернового внаслідок щільного агроценозу, при чому застосування регулятора росту «Аппетайзер» сповільнило зменшення площі листкової поверхні лише на 1% у всіх досліджуваних гібридів [174].

У загальному, найбільший показник був зафіксований у варіанті гібриду ЕС Алізе (21,1 тис.шт./га) за густоти стояння рослин 200 тис.шт./га при застосуванні РРР «Аппетайзер».

За середньою площею листкової поверхні (СПЛ, тис.м²/га) та тривалості періоду між настанням фенологічних фаз було розраховано фотосинтетичний потенціал (ФП, тис.м²/га * діб) рослин сорго зернового (Таблиця 3.4), залежно від досліджуваних факторів.

Таблиця 3.4

Середня площа листків (тис.м²/га) та фотосинтетичний потенціал (тис.м²/га * діб) сорго зернового залежно від досліджуваних факторів (середні значення за період досліджень 2022-2024рр.)

Фактори			Міжфазні періоди розвитку рослин								
А	В	С	ВТ-ВВ			ВВ-Ц			Ц-ВС		
Продовження таблиці 3.4											
Гібрид	ГСР	К / PPP	СПЛ	Т, діб	ФП	СПЛ	Т, діб	ФП	СПЛ	Т, діб	ФП
Албанус	170 (К)	К	15,9	12	190,2	22,9	9	205,7	21,3	17	362,1
		PPP	16,3	12	195,0	23,4	9	210,6	21,9	17	371,5
	200	К	17,3	12	207,6	23,8	9	213,8	22,2	16	354,4
		PPP	17,7	12	212,4	24,3	9	218,7	22,7	16	362,4
	230	К	17,6	12	210,6	24,0	9	215,6	21,8	16	348,8
		PPP	17,9	12	214,2	24,4	9	219,6	22,1	16	353,6
ЕС Муссон (К)	170 (К)	К	15,9	10	158,5	23,1	10	231,0	21,4	15	320,3
		PPP	16,3	11	179,3	23,7	10	236,5	21,8	15	327,0
	200	К	17,2	11	189,2	23,7	9	212,9	22,1	16	352,8
		PPP	17,7	10	177,0	24,3	9	218,7	22,6	16	360,8
	230	К	17,6	10	176,0	24,4	9	219,6	21,7	16	347,2
		PPP	17,8	11	195,8	24,7	9	221,9	22,0	16	352,0
Калатур	170 (К)	К	16,4	13	212,6	23,4	10	234,0	21,9	15	327,8
		PPP	17,1	13	222,3	24,8	10	247,5	23,0	15	345,0
	200	К	18,4	13	238,6	25,9	10	258,5	24,1	14	336,7
		PPP	18,9	13	245,7	26,6	10	265,5	24,7	15	370,5
	230	К	18,6	13	241,2	26,5	10	264,5	24,1	15	361,5
		PPP	18,8	13	243,8	26,7	10	266,5	24,3	14	339,5
ЕС Фоен	170 (К)	К	16,6	14	231,7	23,9	11	262,4	21,7	15	325,5
		PPP	17,1	15	255,8	24,6	10	245,5	22,7	15	339,8
	200	К	18,7	14	261,8	26,7	10	266,5	24,9	16	398,4
		PPP	19,3	15	288,8	27,1	9	243,9	25,3	16	404,0
	230	К	18,9	15	282,8	26,9	9	241,7	24,5	17	415,7
		PPP	19,1	14	267,4	27,1	10	271,0	24,7	16	394,4
ЕС Алізе	170 (К)	К	16,8	13	217,8	24,1	11	265,1	22,5	16	360,0
		PPP	17,2	14	240,8	24,8	10	247,5	23,1	17	392,7
	200	К	19,0	14	266,0	27,3	10	273,0	25,5	16	407,2
		PPP	19,5	13	252,9	27,7	11	304,2	25,8	15	387,0
	230	К	19,2	13	249,6	27,5	11	302,0	25,0	16	400,0
		PPP	19,4	14	271,6	27,7	10	276,5	25,2	16	403,2

Для визначення чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) посівів спочатку визначили масу сухих органів рослин (Таблиця 3.5), та відповідно приріст маси сухої речовини за період між фазами розвитку.

Таблиця 3.5

Суха маса рослин гібридів сорго зернового під час основних фаз росту та розвитку рослин залежно від густоти посіву та застосування регулятора росту, г/м²

Гібрид	Густота стояння рослин, тис.шт./га	Регулятор росту рослин	Маса рослин у фази розвитку рослин, г/м ²			
Фактор А	Фактор В	Фактор С	ВТ	ВВ	Ц	ВС
Албанус	170 (К)	Контроль	105	236	434	867
		РРР	112	252	460	916
	200	Контроль	115	271	490	937
		РРР	122	292	526	1000
	230	Контроль	122	283	505	947
		РРР	128	296	526	982
ЕС Муссон (К)	170 (К)	Контроль	107	216	438	824
		РРР	112	241	476	877
	200	Контроль	118	272	502	968
		РРР	122	272	518	1010
	230	Контроль	112	246	472	912
		РРР	114	265	496	945
Калатур	170 (К)	РРР	128	296	526	982
		РРР	110	258	490	896
	200	Контроль	127	322	605	1054
		РРР	139	350	650	1156
	230	Контроль	115	290	554	1004
		РРР	120	305	579	1010
ЕС Фоен	170 (К)	Контроль	109	262	506	886
		РРР	114	290	526	934
	200	Контроль	130	345	635	1166
		РРР	138	386	662	1214
	230	Контроль	118	326	570	1090
		РРР	122	326	605	1105
ЕС Алізе	170 (К)	Контроль	98	228	458	856
		РРР	104	254	474	918
	200	Контроль	127	322	596	1100
		РРР	139	350	685	1205
	230	Контроль	115	290	583	1066
		РРР	120	305	568	1048

Примітка: ВТ-Вихід у трубку; ВТ-Викидання волоті; Ц-Цвітіння; ВС-Воскова стиглість

Вищенаведені дані свідчать про те, що під час фази виходу у трубку найменша суха маса рослин була зафіксована за густоти посіву 170 тис.шт./га

на ділянках контролю пізньостиглого гібриду ЕС Алізе (98 г/м²), середні схожі значення мали середньо-ранній гібрид Калатур (104 г/м²) та ранньостиглий Албанус (105 г/м²), а максимальних значень за таких умов досягли середньо-ранні гібриди ЕС Муссон (107 г/м²) та ЕС Фоен (109 г/м²). На варіантах із застосуванням регулятора росту «Аппетайзер» було зафіксовано підвищення сухої маси на 5-7% залежно від гібриду.

За густоти рослин 200 тис.шт./га на варіантах контролю спостерігалось збільшення маси рослин на 10% у гібридів Албанус (115 г/м²) та ЕС Муссон (118 г/м²); на 19% у гібриду ЕС Фоен (130 г/м²); на 22% у гібриду Калатур (127 г/м²); та на 30% у гібриду ЕС Алізе (127 г/м²). Використання РРР «Аппетайзер» у даній фазі росту рослин підвищило показники на 3-9% залежно від гібриду.

Загущення рослин сорго зернового у посіві до 230 тис.шт./га призвело до зменшення маси рослин до значень 115-118 г/м² (зменшення на 5-9%) у всіх гібридів, окрім ранньостиглого гібриду Албанус – у якого спостерігалось збільшення маси до 122 г/м² (на 6%). Приріст маси рослин від застосування РРР становив у межах 2-5% (+2-6 г/м²).

Маса рослин з моменту проходження фази виходу у трубку (98-139 г/м²) до фази викидання волоті досягли значень 216-386 г/м². Так, найменшою масою характеризувалися посіви з густотою 170 тис.шт./га, а саме: середньо-ранній гібрид ЕС Муссон (216 г/м²), наступним був пізньостиглий ЕС Алізе (228 г/м²), за ним зі схожими значеннями зайняли місце ранньостиглий гібрид Албанус (236 г/м²) та середньо-ранній Калатур (238 г/м²), максимального значення досяг ЕС Фоен (262 г/м²). Застосування РРР «Аппетайзер» призвело до збільшення маси рослин на 7-12%.

У фазі викидання волоті збільшення густоти рослин до 200 тис.шт./га призвело до зростання маси рослин порівняно з контрольними варіантами меншої густоти: на 15% у ранньостиглого гібриду Албанус (271 г/м²); на 26% у середньо-раннього ЕС Муссон (272 г/м²); на 32% та 35% у середньо-ранніх гібридів ЕС Фоен (345 г/м²) та Калатур (322 г/м²); та на 41% у пізньостиглого гібриду ЕС Алізе (322 г/м²). При цьому застосування регулятора росту на

даному етапі забезпечило прибавку маси рослин на 8-12% залежно від гібриду. Виключенням став гібрид ЕС Муссон, значення маси рослин якого залишилося незмінним на рівні 272 г/м².

У фазу викидання волоті варіанти з густотою рослин 230 тис.шт./га мали меншу масу рослин на 6-10% порівняно з густотою 200 тис.шт./га залежно від гібриду, окрім ранньостиглого гібриду Албанус (+4% до маси рослин). Так, найбільше значення мали гібриди ЕС Фоен (326 г/м²), Калатур (290 г/м²) та ЕС Алізе (290 г/м²); дещо менший показник мав ранньостиглий гібрид Албанус (283 г/м²); а найменшим показником відзначився гібрид ЕС Муссон (246 г/м²). При застосуванні РРР показник маси був більшим на 5% у гібридів Калатур, ЕС Алізе та Албанус, на 8% у гібриду ЕС Муссон, а для гібриду ЕС Фоен залишився незмінним.

Маса рослин з моменту проходження фази викидання волоті (216-386 г/м²) до фази цвітіння набула значень 434-685 г/м² залежно від густоти рослин та застосування РРР. Так, за найменшої густоти рослин 170 тис.шт./га на варіантах контролю були зафіксовані наступні показники: гібрид Калатур – 448 г/м²; ЕС Алізе – 458 г/м²; ЕС Фоен - 506 г/м²; Албанус - 434 г/м²; ЕС Муссон - 438 г/м². Застосування регулятора росту призвело до збільшення показників на 3% у пізньостиглого гібриду ЕС Алізе; на 4% - у середньо-раннього гібриду ЕС Фоен; на 6% - у ранньостиглого гібриду Албанус; та на 9% у середньо-ранніх гібридів Калатур та ЕС Муссон.

На варіантах контролю з густотою рослин 200 тис.шт./га було зафіксовано збільшення показників маси рослин порівняно зі значеннями варіантів контролю за густоти 170 тис.шт./га на 13% у ранньостиглого гібриду Албанус (490 г/м²); на 15% у середньо-раннього гібриду ЕС Муссон (502 г/м²); на 25% у середньо-раннього гібриду ЕС Фоен (635 г/м²); на 30% у пізньостиглого гібриду ЕС Алізе (596 г/м²) та на 35% у середньо-раннього гібриду Калатур (605 г/м²). Найбільшу ефективність застосування РРР за вищевказаних умов зафіксували у пізньостиглого гібриду ЕС Алізе (+15% до контролю); потім у середньо-раннього гібриду Калатур та ранньостиглого

Албанус (+7% до контролю); найменша прибавка маси була у середньо-ранніх гібридів ЕС Фоен (+4% до контролю) та ЕС Муссон (+3% до контролю).

Варіанти контролю за густоти рослин 230 тис.шт./га характеризувалися зменшенням маси рослин. Так, найбільш чутливим до загушення були середньо-ранні гібриди ЕС Фоен (-10% порівняно з варіантами контролю за густоти 200 тис.шт./га), Калатур (-8%) та ЕС Муссон (-6%). Ранньостиглий гібрид Албанус (-3%) та пізньостиглий гібрид ЕС Алізе (-2%) мали несуттєву різницю показників, однак показники всіх варіантів свідчать про динаміку зменшення при загущенні посіву. Застосування РРР призвело до збільшення маси рослин у всіх гібридів на 4-6%, окрім гібриду ЕС Алізе (-3%).

У фазу воскової стиглості усі варіанти набули максимальних значень маси рослин за період вегетації, який залежно від досліджуваних факторів становив в межах 820-1212 г/м². Так, на варіантах контролю за густоти 170 тис.шт./га найбільші показники зафіксовані у гібридів ЕС Фоен (886 г/м²), Албанус (867 г/м²) та ЕС Алізе (856 г/м²); найменшими показниками характеризувалися гібриди Калатур (820 г/м²) та ЕС Муссон (824 г/м²). При застосуванні РРР спостерігалось збільшення маси на 5% у всіх гібридів, окрім Калатур (+9%).

На варіантах контролю за густоти 200 тис.шт./га показники порівняно з густотою рослин 170 тис.шт./га збільшилися на 8% у гібриду Албанус (937 г/м²), на 17% у ЕС Муссон (968 г/м²), на 29% у гібридів Калатур (1054 г/м²) та ЕС Алізе (1100 г/м²), та на 32% у гібриду ЕС Фоен (1166 г/м²). Приріст маси від застосування РРР становив від 4% до 10%, залежно від гібриду.

На варіантах контролю за густоти 230 тис.шт./га показники порівняно з густотою рослин 200 тис.шт./га зменшилися на 5% у гібридів Калатур (1004 г/м²), на 3% у ЕС Алізе (1066 г/м²), на 7% у ЕС Фоен (1090 г/м²), на 6% у ЕС Муссон (912 г/м²), а у ранньостиглого гібриду Албанус – збільшення на 1% (947 г/м²). Застосування РРР призвело до підвищення маси рослин на 1-4% залежно від гібриду, окрім пізньостиглого гібриду ЕС Алізе (-2%).

Отже, вищенаведені результати аналізу вказують на те, що найбільшу масу було сформовано середньо-ранніми гібридами Калатур та ЕС Фоен, а також пізньостиглим гібридом ЕС Алізе за густоти рослин 200 тис.шт./га із застосуванням регулятора росту, а значить така комбінація серед досліджуваних факторів є найоптимальнішою.

За допомогою показників середньої площі листків за міжфазний період та маси рослин у фазі розвитку рослин, було визначено приріст урожаю сухої біомаси (Рис. 3.3), який у свою чергу, є необхідною складовою для визначення чистої продуктивності фотосинтезу (Рис. 3.4).

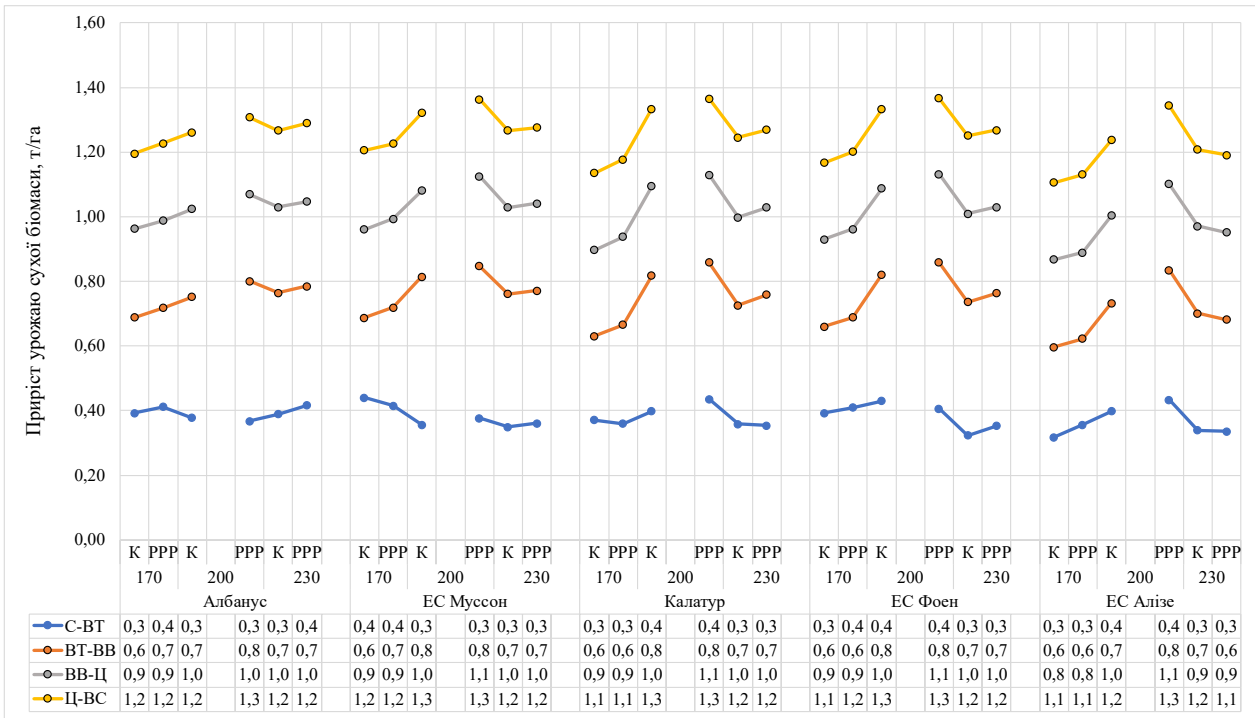


Рис. 3.3 Приріст урожаю сухої біомаси гібридів сорго зернового залежно від густоти посівів та регулятору росту (середнє за 2022-2024 рр.), т/га

Вищенаведені дані вказують на суттєву диференціацію приросту урожаю сухої біомаси рослин під час проходження періоду від фази сходів до фази виходу у трубку залежно від досліджуваних факторів. Так, на цьому етапі за густоти рослин 170 тис.шт./га найвищий показник спостерігався у середньо-раннього гібриду ЕС Муссон як на контролі (0,44 т/га), так і з застосуванням РРР (0,42 т/га). За густоти 200 тис.шт./га найвищі показники на контролі мав середньо-ранній гібрид ЕС Фоен (0,43 т/га), а із застосуванням РРР – пізньостиглий гібрид ЕС Алізе (0,43 т/га). За густоти 230 тис.шт./га найвищі

показники зафіксовані у ранньостиглого гібриду Албанус як на контролі (0,39 т/га), так і з застосуванням PPP (0,42 т/га).

Інші етапи онтогенезу (від виходу у трубку до воскової стиглості) характеризуються збереженням динаміки приросту урожаю сухої біомаси у різні міжфазні періоди. Згідно з даними, показники на варіантах контролю з густотою рослин 170 тис.шт./га були найнижчими серед усіх у кожного гібриду і становили в межах 0,32-0,44 т/га. Застосування PPP забезпечило збільшення показника на 3-5% залежно від гібриду.

За густоти рослин 200 тис.шт./га показник мав найбільше значення у більшості гібридів на варіантах із застосуванням PPP, хоча у гібридів ЕС Фоен та Албанус на певних етапах росту та розвитку спостерігався зворотній ефект.

Збільшення густоти рослин до 230 тис.шт./га призвело значного зменшення приросту урожаю сухої біомаси у всіх гібридів, окрім гібриду Албанус. Це свідчить про пластичність ранньостиглого гібриду до загушення, та про оптимальну густоту 200 тис.шт./га для гібридів інших груп стиглості.

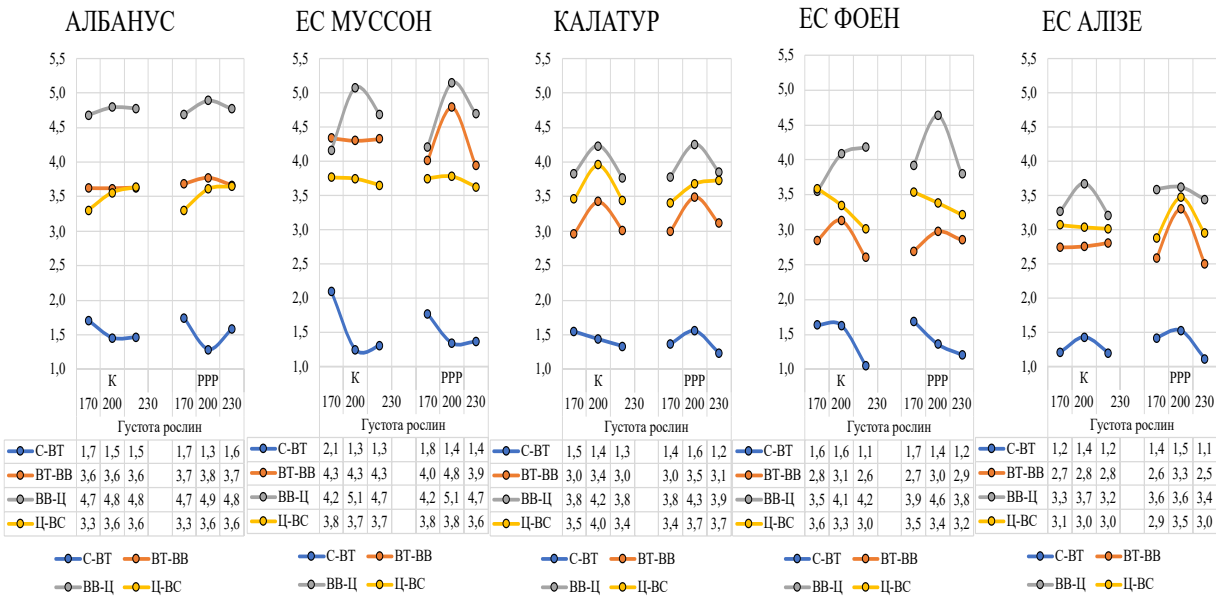


Рис. 3.4 Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) гібридів сорго зернового залежно від густоти посівів та регулятору росту (середнє за 2022-2024 рр.), г/м² за добу

За допомогою показників була визначена чиста продуктивність фотосинтезу сорго зернового залежно від досліджуваних факторів. Згідно вищевказаного, можна зробити висновок, що під час періоду фаз сходів-

виходу у трубку (С-ВТ) найбільша ЧПФ за густоти рослин 170 тис.шт./га була у середньо-ранніх гібридів ЕС Муссон та ЕС Фоен, а також ранньостиглого гібриду Албанус. Натомість за густоти рослин 200 тис.шт./га найвищу ЧПФ мали середньо-ранній гібрид Калатур та пізньостиглий гібрид ЕС Алізе. При густоті 230 тис.шт./га високий показник був лише у гібриду Албанус.

Протягом проходження фаз розвитку виходу у трубку-викидання волоті (ВТ-ВВ) найвищі показники зафіксовані у середньо-раннього гібриду ЕС Муссон незалежно від густоти рослин та застосування РРР; на другому місці був ранньостиглий гібрид Албанус з несуттєвими відхиленнями за густотою рослин та застосування РРР; третє місце посів середньо-ранній гібрид Калатур ;останні місця розділили середньо-ранній ЕС Фоен та пізньостиглий ЕС Алізе (маючи переваги за різної густоти рослин або із застосуванням РРР).

Період проходження фаз викидання волоті-цвітіння (ВВ-Ц) відзначився максимальними значеннями ЧПФ посівів сорго зернового за період вегетації. Зокрема, найбільший показник був у гібриду ЕС Муссон за густоти рослин 200 тис.шт./га та 230 тис.шт./га, також високі та стабільні показники на всіх варіантах густоти мав гібрид Албанус. Дещо менші показники спостерігалися у гібридів ЕС Муссон за густоти рослин 170 тис.шт./га, а також гібридів Калатур та ЕС Фоен на всіх варіантах за різної густоти рослин. Найнижчі показники мав пізньостиглий гібрид ЕС Алізе, особливо на контрольних варіантах за густоти рослин 170 та 230 тис.шт./га.

Схожою за характером під час проходження фаз ВТ-ВВ була динаміка ЧПФ для періоду фаз розвитку сорго зернового цвітіння-воскова стиглість (Ц-ВС). У загальному, різниця полягала у зменшенні ЧПФ за густоти рослин 230 тис.шт./га, а також більшому прирості ЧПФ гібридів сорго зернового від застосування регулятору росту «Аппетайзер».

3.3. Оцінка впливу факторів, що вивчалися у досліді, на основні структурно-морфологічні показники урожаю сорго зернового

Структура урожайності сорго зернового включає комплекс елементів, серед яких: кількість продуктивних пагонів, довжина волоті, маса зерна у волоті, маса 1000 зерен. На кожен з них можна впливати, удосконалюючи та оптимізуючи технологію вирощування сорго зернового [40; 68; 69].

Протягом онтогенезу в рослинах поетапно відбуваються зміни, які базуються на послідовній реалізації програми розвитку рослин. Дослідження впливу агротехнічних факторів вирощування сприяє забезпеченню більш повного контролю за продуктивним процесом сорго зернового. Формування оптимальної густоти стояння рослин тісно пов'язано зі швидкістю проходження фенологічних фаз росту та розвитку рослин, синхронністю їхнього розвитку, коефіцієнтом кущення [62]. Кількість пагонів залежить як від густоти стояння рослин, так і від кущення самих рослин під час вегетації.

Згідно досліджень, є два механізми контролю кущення у сорго зернового: доступність асиміляції необхідних ресурсів для формування вегетативної маси та генетична схильність сортів та гібридів до кущення [100; 124; 134]. Окрім того, важливим аспектом є саме продуктивне кущення рослин, пагони яких формують господарсько-цінну частину урожаю.

Незважаючи на те, що здатність до кущення рослин сорго є позитивним аспектом, оскільки продуктивні вторинні стебла компенсують втрату рослин протягом періоду вегетації та потенційно підвищують урожай культури, є і негативні сторони, оскільки зерно на вторинних стеблах часто дозріває пізніше, чим ускладнюється збір врожаю та подальша доробка продукції.

Кущення рослин у посіві характеризується показником коефіцієнта продуктивного кущення, яке визначається відношенням кількості продуктивних пагонів до кількості рослин на одиниці площі.

Протягом 2022-2024 рр. нами був проведений облік продуктивних пагонів на дослідних ділянках, після чого були розраховані коефіцієнти продуктивного кушення сорго зернового. Результати були усереднені за роки досліджень (Таблиця 3.6).

Таблиця 3.6

Коефіцієнт продуктивного кушення гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин та регулятору росту рослин за 2022-2024 рр.

Густота стояння рослин, тис.шт./га	Регулятор росту рослин	Гібрид	Період досліджень			
			2022	2023	2024	Середнє
170 (К)	Контроль	Албанус	1,6	1,4	1,2	1,4
		ЕС Муссон (К)	1,5	1,5	1,4	1,5
		Калатур	1,2	1,4	1,2	1,3
		ЕС Фоен	1,2	1,4	1,2	1,3
		ЕС Алізе	1,1	1,2	1,0	1,1
	PPP	Албанус	1,8	1,7	1,4	1,6
		ЕС Муссон (К)	1,7	1,8	1,6	1,7
		Калатур	1,5	1,5	1,4	1,5
		ЕС Фоен	1,5	1,5	1,4	1,5
		ЕС Алізе	1,3	1,4	1,2	1,3
200	Контроль	Албанус	1,7	1,6	1,5	1,6
		ЕС Муссон (К)	2,4	2,3	2,1	2,3
		Калатур	2,4	2,3	2,1	2,3
		ЕС Фоен	2,5	2,4	2,2	2,4
		ЕС Алізе	2,2	2,1	2,1	2,1
	PPP	Албанус	2,3	2,4	2,0	2,2
		ЕС Муссон (К)	2,7	2,8	2,6	2,7
		Калатур	2,7	2,8	2,6	2,7
		ЕС Фоен	3,0	2,9	2,8	2,9
		ЕС Алізе	2,4	2,4	2,3	2,4
230	Контроль	Албанус	1,7	1,5	1,4	1,5
		ЕС Муссон (К)	2,2	2,1	2,1	2,1
		Калатур	1,4	1,4	1,3	1,4
		ЕС Фоен	1,2	1,2	1,0	1,1
		ЕС Алізе	1,7	1,6	1,4	1,6
	PPP	Албанус	2,1	1,8	1,6	1,8
		ЕС Муссон (К)	2,4	2,4	2,3	2,4
		Калатур	1,7	1,6	1,5	1,6
		ЕС Фоен	1,5	1,5	1,3	1,4
		ЕС Алізе	2,0	1,9	1,7	1,9

За результатами дисперсійного аналізу вищенаведених даних ми визначили, що HP_{05} становить 0,06 за фактором А; 0,04 – за фактором В; 0,04

– за фактором С; та 0,1 – за взаємодії факторів АВ, ВС, АС та АВС. Найвищий коефіцієнт кушення був зафіксований у варіантах гібридів Калатур (k=2,7), ЕС Фоен (k=2,9) та ЕС Муссон (k=2,7) з густотою стояння рослин 200 тис.шт./га із застосуванням РРР «Аппетайзер».

Найнижчий показник був зафіксований у варіантах гібридів ЕС Алізе (k=1,1) з густотою стояння рослин 170 тис.шт./га без застосування РРР та ЕС Фоен (k=1,1) з густотою стояння рослин 230 тис.шт./га без застосування РРР.

Фактична різниця коефіцієнтів кушення відрізнялася в межах 0,02-0,33 між гібридами, збільшувалася на 0,94 зі збільшенням ГСР до 200 тис.шт./га та на 0,27 з ГСР до 230 тис.шт./га (порівняно з ГСР – 170 тис.шт./га). Застосування регулятора росту рослин «Аппетайзер» збільшувало даний показник порівняно з варіантами контролю на 16-18% за ГСР 170 тис.шт./га, на 11-39% за ГСР 200 тис.шт./га та на 11-27% за ГСР 230 тис.шт./га.

Значною мірою мали вплив погодні умови років досліджень, оскільки у розрізі років за однакової технології вирощування різниця коефіцієнтів кушення становила до 16%.

За результатами аналізу ми дійшли висновку, що здатність цілеспрямовано регулювати процес кушення агротехнічними заходами має важливу роль і використання регулятора росту рослин «Аппетайзер» можна вважати адаптивним елементом технології вирощування сорго зернового, оскільки він забезпечує суттєву різницю до 18,7 % порівняно з варіантами контролю.

Для визначення ефективності гібридного складу сорго зернового, густоти стояння рослин та застосування регулятора росту рослин у наших дослідженнях необхідним є дослідження структурно-морфологічних показників урожайності культури, серед яких: довжина волоті (Таблиця 3.7), маса зерна у волоті, маса 1000 зерен. Протягом 2022-2024 рр. ми зафіксували показники елементів структури урожайності (Додаток Н).

Таблиця 3.7

Довжина волоті гібридів сорго зернового в залежності від густоти стояння рослин та регулятору росту рослин, см (середнє за 2022-2024 рр.)

Гібрид (Фактор А)	Густота стояння рослин, тис.шт./га (Фактор В)		
	170 (К)	200	230
Контроль (вода) – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)			
Албанус	26	24	24
ЕС Муссон (К)	23	22	22
Калатур	23	21	22
ЕС Фоен	23	24	23
ЕС Алізе	22	23	23
Регулятор росту рослин - 0,5+0,5 л/га (Фактор С)			
Албанус	29	27	26
ЕС Муссон (К)	27	25	24
Калатур	26	23	24
ЕС Фоен	25	26	25
ЕС Алізе	25	25	25
НІР ₀₅ , см	А	0,82	
	В	0,64	
	С	0,52	
	АВ	1,42	
	ВС	1,16	
	АС	0,90	
	АВС	2,02	

Найвищі показники довжини волоті спостерігалися за густоти стояння рослин 170 та 200 тис.шт./га. Серед гібридів високими показниками відрізнялися середньо-ранні Калатур (21-26 см) та ЕС Муссон (22-27 см), а також ранньостиглий Албанус (24-29 см). Також нами була зафіксована суттєва різниця між контрольними ділянками та варіантами із застосуванням регулятору росту, де останні сформували значно вищі результати.

За даними досліджень ми за допомогою дисперсійного аналізу визначили частки впливу факторів та їх взаємодій (Рис. 3.5) та найменші істотні різниці (НІР₀₅).

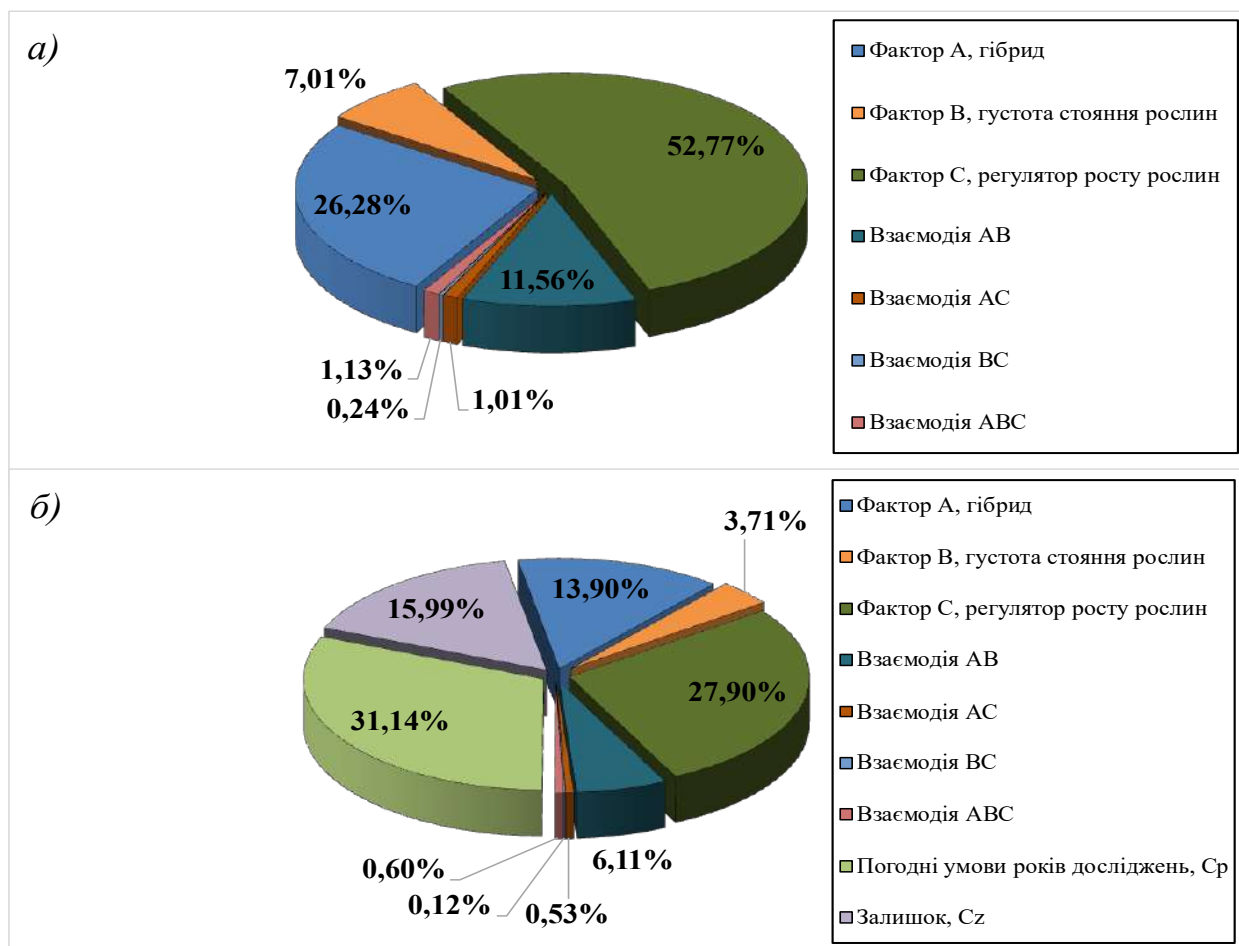


Рис. 3.5 Вплив досліджуваних факторів та їх взаємодія на довжину волоті сорго зернового за результатами дисперсійного аналізу (середнє за 2022-2024 рр.), %: а) факторна сума квадратів; б) загальна сума квадратів

Так, за середніми показниками довжини волоті протягом 2022-2024 рр. фактична різниця між гібридами становила від 0,67 до 2,78 см; при збільшенні густоти стояння з 170 до 200 тис.шт./га довжина волоті зменшувалася на 0,67 см, при збільшенні до 230 тис.шт./га – зменшувалася на 1,17 см; при застосуванні РРР довжина волоті збільшувалася на 2,62 см у порівнянні з варіантом контролю. Ці розрахунки свідчать про те, що загушення посіву негативно впливає на розмір волоті, а застосування регулятора росту рослин забезпечує суттєву різницю у 11,4 % порівняно з контролем.

Маса зерна у волоті є показником, завдяки якому можна прогнозувати біологічну урожайність на момент збирання урожаю. Значною мірою він залежить агротехнологічних заходів, а також генетичних особливостей гібридного складу, погодних умов, та інших чинників. Так, відповідно до

поставлених перед нами завдань, ми зафіксували показники (Таблиця 3.8) та вивчили вплив досліджуваних факторів на масу зерна у волоті.

Таблиця 3.8

Маса зерна у волоті гібридів сорго зернового в залежності від густоти стояння рослин та регулятору росту рослин, г (середнє за 2022-2024 рр.)

Гібрид (Фактор А)	Густота стояння рослин, тис.шт./га (Фактор В)		
	170 (К)	200	230
Контроль (вода) – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)			
Албанус	38,2	39,8	39,0
ЕС Муссон (К)	41,3	42,8	41,9
Калатур	43,3	44,2	41,8
ЕС Фоен	44,0	45,1	44,2
ЕС Алізе	41,2	42,8	42,2
Регулятор росту рослин - 0,5+0,5 л/га (Фактор С)			
Албанус	38,9	40,5	39,3
ЕС Муссон (К)	42,0	43,4	42,2
Калатур	44,2	45,4	42,3
ЕС Фоен	44,7	46,1	44,5
ЕС Алізе	42,5	43,2	42,5
НІР ₀₅ , г	А	0,14	
	В	0,10	
	С	0,08	
	АВ	0,24	
	ВС	0,20	
	АС	0,16	
	АВС	0,34	

Отримані результати свідчать про суттєвий вплив досліджуваних факторів на масу зерна у волоті. Так, найбільшу масу зерна у волоті мали середньо-ранні гібриди Калатур, ЕС Фоен та ЕС Муссон за густоти рослин 200 тис.шт./га як на варіантах контролю, так і з застосуванням РРР. При цьому ключову роль впливу мали гібридний склад (середньо-рання група стиглості) та густота стояння рослин.

Збільшення маси волоті від застосування регулятору росту складало від 0,7 до 3,2% від варіантів контролю, хоча частка впливу у факторній сумі квадратів фактора становила 2,7%. Частка впливу густоти стояння рослин становила 9,5%, а гібридного складу – 83,5% (Рис. 3.6).

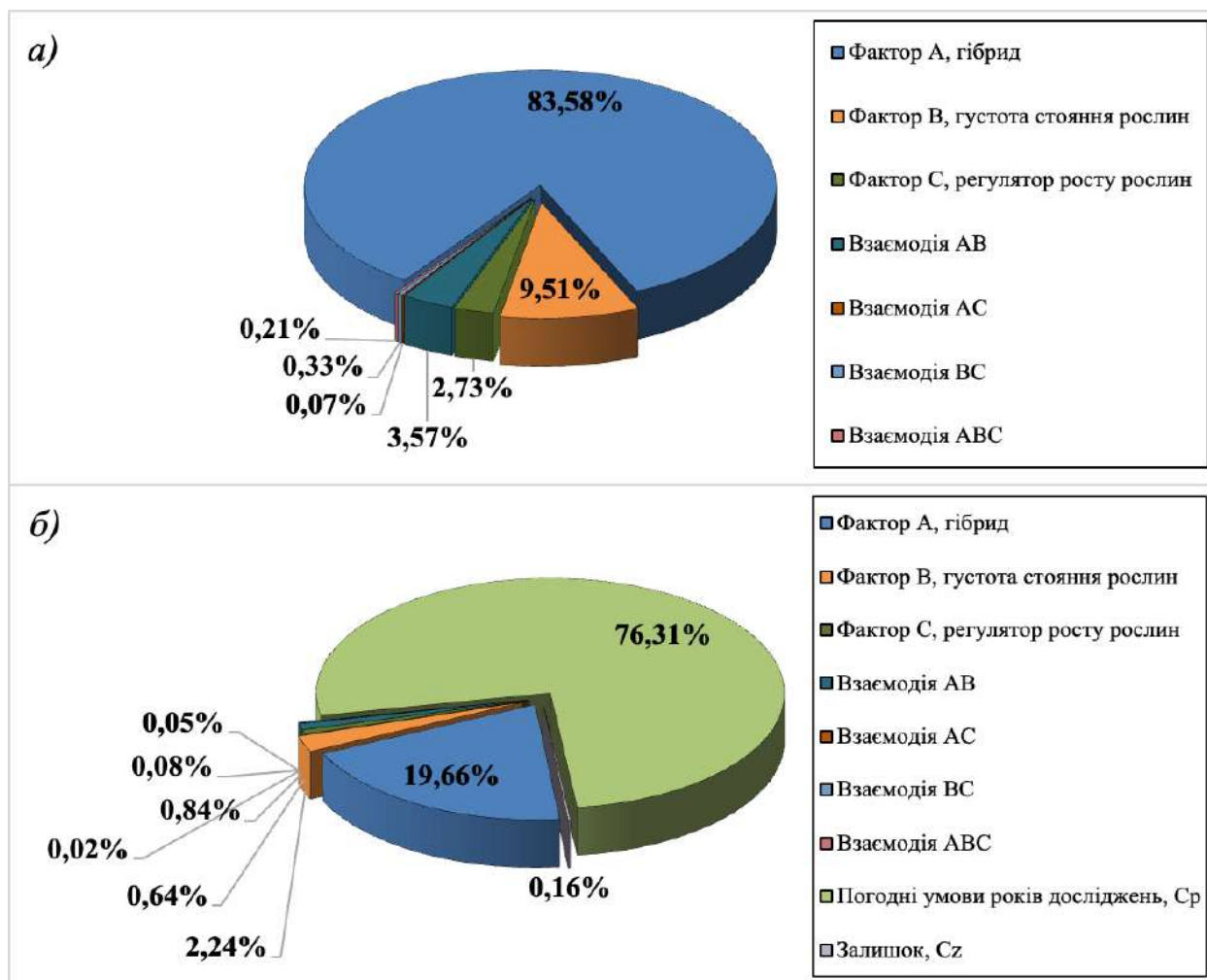


Рис. 3.6. Вплив досліджуваних факторів та їх взаємодія на масу зерна у волоті сорго зернового за результатами дисперсійного аналізу (середнє за 2022-2024 рр.), %: а) факторна сума квадратів; б) загальна сума квадратів

У загальній сумі квадратів вагома частка впливу належала погодним умовам років досліджень (76,3%), через які спостерігалася мінливість значення маси зерна у волоті. При цьому частки впливу інших факторів становили: гібрид – 19,6%, густина рослин – 2,2%, а застосування РРР – 0,64%.

Маса 1000 зерен є важливим елементом структури урожайності, який більшою мірою залежить від генетичних особливостей гібридів, температурних умов під час цвітіння та наливання зерна культури. Однак на цей показник впливає безліч факторів антропогенного походження, тобто застосування агротехніки і препаратів для знищення шкідників. Наприклад, у періоди посухи зерно наливається слабо, що є причиною низької ваги. Проте збільшити масу зерна можливо за рахунок забезпечення достатньої кількості вологи та поживних речовин, а отже має місце площа живлення рослин.

Під час проведення досліджень протягом 2022-2024 рр. під час збирання нами були відібрані проби, з яких ми визначили масу 1000 зерен (Таблиця 3.9).

Таблиця 3.9

Маса 1000 зерен гібридів сорго зернового в залежності від густоти стояння рослин та регулятору росту рослин, г (середнє за 2022-2024 рр.)

Гібрид (Фактор А)	Густота стояння рослин, тис.шт./га (Фактор В)		
	170 (К)	200	230
Контроль (вода) – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)			
Албанус	24,9	26,5	25,7
ЕС Муссон (К)	28,0	29,5	28,6
Калатур	30,0	30,9	28,5
ЕС Фоен	30,7	31,8	30,9
ЕС Алізе	27,9	29,5	28,9
Регулятор росту рослин - 0,5+0,5 л/га (Фактор С)			
Албанус	25,6	27,2	26,0
ЕС Муссон (К)	28,7	30,1	28,9
Калатур	30,9	32,1	29,0
ЕС Фоен	31,4	32,8	31,2
ЕС Алізе	29,2	29,9	29,2
НІР ₀₅ , г	А	0,14	
	В	0,10	
	С	0,08	
	АВ	0,24	
	ВС	0,20	
	АС	0,16	
	АВС	0,34	

Найвищі показники маси 1000 зерен зафіксували у середньо-ранніх гібридів Калатур (30,9 г), ЕС Фоен (31,8 г) та ЕС Муссон (29,5 г) за густоти стояння рослин 200 тис.шт./га на варіантах контролю. Також ці гібриди сформували найвищі показники за тієї ж густоти із застосуванням РРР, забезпечивши показники 32,1 г, 32,8 г та 30,1 г відповідно. Результати трирічних даних дають змогу зробити висновок, що густота рослин 200 тис.шт./га є оптимальною для даних гібридів, а сам фактор є ключовим елементом технології вирощування сорго зернового, оскільки формує площу живлення, що є фундаментальною для біометричних та структурно-морфологічних показників рослин.

Окрім того, приріст показника маси 1000 зерен від застосування РРР у порівнянні з варіантами контролю становив в межах 2,3-4,7% за ГСР 170

тис.шт./га; 1,4-3,9% за ГСР 200 тис.шт./га; 1,0-1,8% за ГСР 230 тис.шт./га. Ці результати доводять ефективність його застосування на посівах сорго зернового.

Також за допомогою дисперсійного аналізу були розраховані частки впливу факторів у факторній та загальній сумі квадратів (Рис. 3.7).

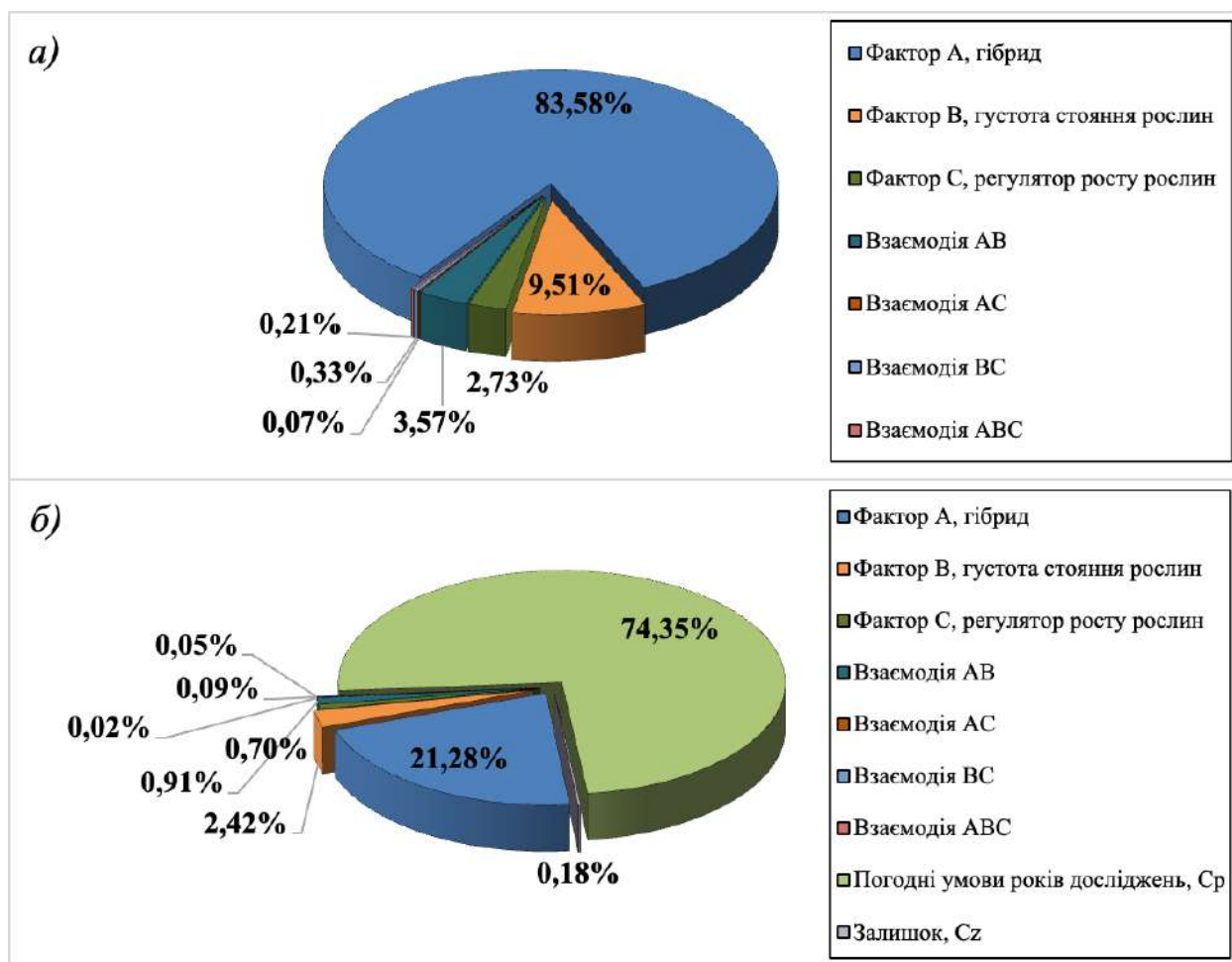


Рис. 3.7. Вплив досліджуваних факторів та їх взаємодія на масу 1000 зерен сорго зернового за результатами дисперсійного аналізу (середнє за 2022-2024 рр.), %: а) факторна сума квадратів; б) загальна сума квадратів

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНИХ ОЗНАК ГІБРИДІВ СОРГО ЗЕРНОВОГО, ЗУМОВЛЕНИХ ДОСЛІДЖУВАНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ

Урожайність, на думку багатьох науковців, є основною господарсько-цінною ознакою та підсумковим показником продуктивності сорго зернового, за яким оцінюють ефективність та доцільність застосування агротехнічних заходів у технології вирощування культури [30; 53; 112]. Цей показник продуктивності є комплексним, та вимагає як формування за допомогою елементів структури урожаю, так і правильного підходу при його збиранні.

По-перше, важливо визначити оптимальні строки збирання, щоб запобігти осипанню зерна чи вилягання стеблостою від несприятливих умов.

По-друге, з урахуванням агробіологічних особливостей сорго зернового, збирання зерна проводиться в осінній період, тому з великою ймовірністю воно має підвищену вологість, а іноді й засміченість. Саме тому доцільно проводити облік урожайності в перерахунку на продукцію з базовими показниками – 14% вологості та 100% чистоти. Перерахунок проводиться як для зерна з більшими, так і з меншими показниками порівняно з базовими.

По-третє, важливим аспектом при збиранні зерна сорго зернового є налаштування молотильного барабану та сепарувальних пристроїв, через які втрати врожаю можуть зростати до більш як 4%. Занадто висока швидкість обертання мотовила також може призвести до розбиття зернин, тоді як повільна – до полягання волотей. Окрім того, існує проблема невимолоченого зерна, саме тому доводиться шукати компроміс між часткою невимолоченого зерна і часткою роздушеного [71].

Тож, враховуючи вищевказані фактори та той факт, що у наших дослідках досліджуються гібриди різної групи стиглості, нами було прийняте рішення про проведення передзбиральної десикації для можливості збирати урожай одночасно зі всіх дослідних ділянок.

4.1. Вплив густоти стояння та застосування регулятора росту рослин «Аппетайзер» на продуктивність гібридів сорго зернового

Проведений нами аналіз впливу досліджуваних факторів дає змогу стверджувати, що характер та істотність залежностей основних фенологічних, біометричних та структурних показників росту, розвитку та урожайності культури зберігся і зумовив диференційований характер підсумкового показника, за яким було проведено оцінювання гібридного складу, густоти стояння рослин та застосування регулятора росту, як урожайність кондиційного зерна сорго.

Урожайність зерна сорго у перерахунку до базових показників, за варіантами дослідів наведена в середньому за роки проведення досліджень в Таблиця 4., а дані за окремі роки – містить Додаток І.

Таблиця 4.1

Урожайність зерна гібридів сорго зернового в залежності від густоти стояння рослин та регулятора росту рослин, т/га (середнє за 2022-2024 рр.)

Гібрид (Фактор А)	Густота стояння рослин, тис.шт./га (Фактор В)		
	170 (К)	200	230
Контроль (вода) – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)			
Албанус	3,55	4,03	4,09
ЕС Муссон (К)	3,55	4,53	4,12
Калатур	4,07	4,56	3,84
ЕС Фоен	3,35	4,58	3,96
ЕС Алізе	3,87	4,12	3,62
Регулятор росту рослин - 0,5+0,5 л/га (Фактор С)			
Албанус	3,79	4,44	4,27
ЕС Муссон (К)	3,80	4,82	4,38
Калатур	4,40	4,86	4,10
ЕС Фоен	3,57	4,87	4,13
ЕС Алізе	4,06	4,43	3,85
НІР ₀₅ , т/га	А	0,06	
	В	0,04	
	С	0,04	
	АВ	0,08	
	ВС	0,08	
	АС	0,06	
	АВС	0,12	

Аналіз вищенаведених даних дозволяє зробити висновок, що найбільший вплив на формування зернової продуктивності сорго у досліді мав фактор густоти стояння рослин. За всіма варіантами гібридів за густоти рослин 200 тис.шт./га, урожайність була вищою, ніж за густоти 170 тис.шт./га, у середньому на 1,06 т/га або 32%. Подальше загущення посівів до 230 тис.шт./га призвело до зменшення урожайності порівняно з ГСР 200 тис.шт./га у середньому на 0,43 т/га або 10%. Це свідчить про перевагу густоти стояння рослин 200 тис.шт./га за рахунок створення оптимальних умов для росту і розвитку рослин, зокрема площі живлення [175].

На другому місці за часткою впливу був гібридний склад різних груп стиглості: найвищу урожайність сформували середньо-ранні гібриди Калатур (4,56 т/га), ЕС Фоен (4,58) та ЕС Муссон (4,53) за густоти рослин 200 тис.шт./га на варіантах контролю. При цьому, пізньостиглий гібрид ЕС Алізе за аналогічних умов сформував урожайність 4,12 т/га, що на 10% менше від показників середньо-ранніх гібридів, а ранньостиглий Албанус сформував урожайність 4,03 т/га (менше на 11-12%). Однак тільки ранньостиглий гібрид Албанус сформував вищу урожайність при загущенні до 230 тис.шт./га (4,09 т/га).

З використанням РРР «Аппетайзер» тенденція показників урожайності залежно від групи стиглості гібридів збереглася, при чому зафіксовано забезпечення прибавки урожайності на всіх дослідних варіантах в межах 0,18-0,41 т/га. Це свідчить про ефективність застосування регулятору росту за несприятливих умов на досліджуваних гібридах різних груп стиглості, що забезпечує прибавку урожайності на 6-8% за густоти рослин 170 тис.шт./га; на 6-9% за густоти рослин 200 тис.шт./га; на 4-6% за густоти рослин 230 тис.шт./га залежно від гібриду.

Важливим аспектом оцінки впливу досліджуваних агротехнічних заходів на біологічну продуктивність сорго зернового також є не тільки господарсько-цінна частина урожаю, а й формування побічної продукції (соломи). У

результаті обліку та розрахунків нами були визначені наступні показники урожайності побічної продукції сорго зернового (Таблиця 4.1).

Таблиця 4.1

Урожайність побічної продукції гібридів сорго зернового в залежності від густоти стояння рослин та регулятора росту рослин, т/га (середнє за 2022-2024 рр.)

Гібрид (Фактор А)	Густота стояння рослин, тис.шт./га (Фактор В)		
	170 (К)	200	230
Контроль (вода) – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)			
Албанус	4,52	5,46	5,37
ЕС Муссон (К)	4,74	6,17	5,49
Калатур	3,84	6,18	5,05
ЕС Фоен	4,10	6,30	5,41
ЕС Алізе	3,43	5,50	4,65
Регулятор росту рослин - 0,5+0,5 л/га (Фактор С)			
Албанус	4,90	6,09	5,70
ЕС Муссон (К)	5,11	6,62	5,88
Калатур	4,24	6,73	5,43
ЕС Фоен	4,48	6,84	5,72
ЕС Алізе	3,71	5,95	4,98
НІР ₀₅ , т/га	А	0,08	
	В	0,06	
	С	0,04	
	АВ	0,14	
	ВС	0,10	
	АС	0,08	
	АВС	0,18	

На основі отриманих даних нами були визначені коефіцієнти господарської ефективності урожаю для дослідних варіантів за формулою (4.1):

$$K_c = \frac{y_o}{y_b}, \quad (4.1)$$

Де K_c – коефіцієнт ефективності урожаю;

y_o – величина основної (господарсько-цінної) частини, т/га;

y_b – урожайність загальної біомаси, т/га.

Значення коефіцієнта коливалося від 0,485 до 0,495, при цьому найменші показники були на варіантах дослідів з густотою посівів 170 тис.шт./га, а найбільші – при 200 тис.шт./га.

Таким чином, за допомогою вищевказаних показників була розрахована біологічна урожайність гібридів сорго зернового залежно від досліджуваних агротехнічних заходів (Рис. 4.1):

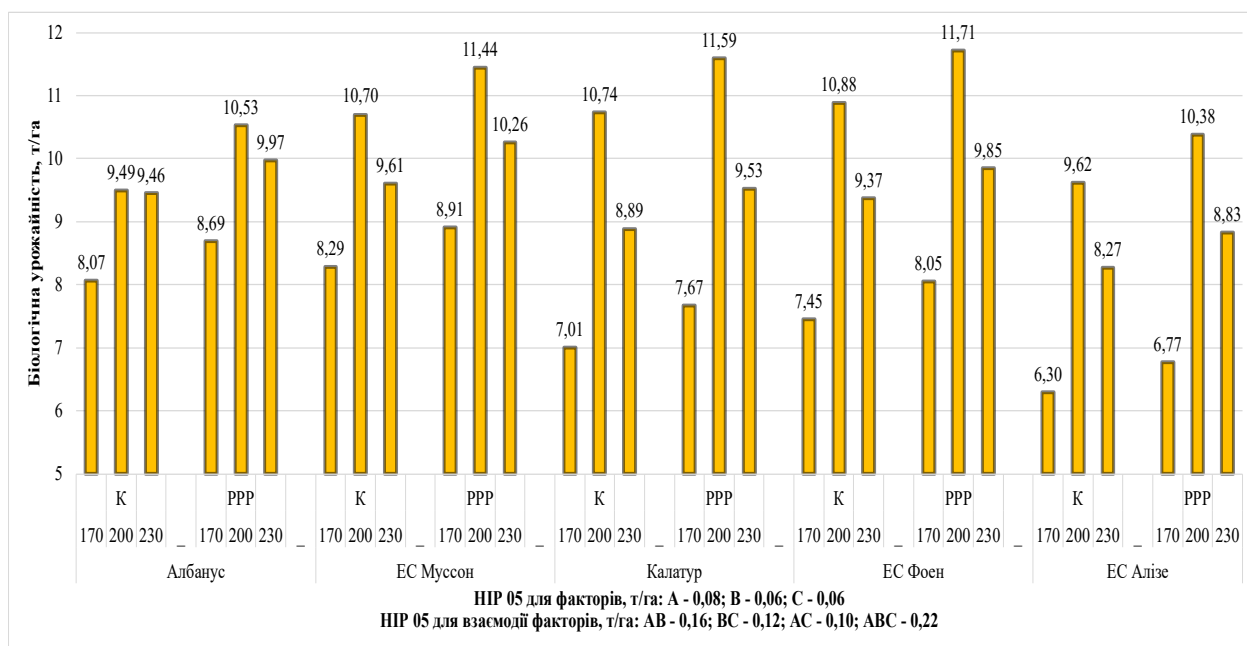


Рис. 4.1. Біологічна урожайність гібридів сорго (основна+побічна продукція) зернового залежно від густоти стояння рослин (170-230 тис.шт./га) та застосування регулятору росту

На основі розрахованих показників можна зробити висновок, що найбільшу продуктивність на контрольних варіантах сформували середньо-ранні гібриди Калатур (10,74 т/га), ЕС Фоен (10,88 т/га) та ЕС Муссон (10,7 т/га) за густоти рослин 200 тис.шт./га. Водночас варіанти вищезазначених гібридів із застосуванням РРР «Аппетайзер» досягли максимальної продуктивності з показниками біологічної урожайності 11,59 т/га, 11,71 т/га та 11,44 т/га відповідно.

Показники біологічної урожайності усіх гібридів суттєво відрізняються у сторону зменшення за густоти рослин 170 тис.шт./га, що вказує на чутливість гібридів сорго зернового до низької густоти, результатом якої є різниця біометричних та структурно-морфологічних показників, а також менша конкурентно-спроможність до бур'янів. Найменша біологічна урожайність за густоти рослин 170 тис.шт./га спостерігалася у пізньостиглого гібриду ЕС Алізе (6,30 т/га), дещо більшу урожайність сформували середньо-ранні

гібриди Калатур (7,01 т/га) та ЕС Фоен (7,45 т/га), а найбільшу – ранньостиглий гібрид Албанус (8,07 т/га) та середньо-ранній гібрид ЕС Муссон (8,29 т/га). Це свідчить про індивідуальну чутливість гібридів сорго зернового до низької густоти, за якої в посушливих умовах найбільш пластичними є середньо-ранні гібриди.

При загущенні посівів до 230 тис.шт./га варіанти як на контролі, так і з застосуванням РРР формували урожайність меншу порівняно з посівами при ГСР=200 тис.шт./га, але більшу у порівнянні з густотою рослин 170 тис.шт./га. Так, стабільну урожайність на контролі продемонстрував ранній гібрид Албанус – 9,46 т/га проти 9,49 т/га при ГСР=200 тис.шт./га. Однак при застосуванні РРР показник при ГСР=200 тис.шт./га був значно вищий порівняно з варіантом загущення (10,53 т/га проти 9,97 т/га). Значно меншої урожайності досягли середньо-ранні гібриди Калатур (8,89 т/га), ЕС Фоен (9,37 т/га) та ЕС Муссон (9,61 т/га), а найменший показник зафіксовано у пізнього гібриду ЕС Алізе – 8,27 т/га. Із застосуванням РРР «Аппетайзер» показники біологічної урожайності збільшилися на 0,48-0,65 т/га, зберігаючи тенденцію варіантів контролю.

Отже, застосування РРР «Аппетайзер» є доцільним та ефективним агротехнічним заходом для збільшення урожайності сорго зернового в посушливих умовах Північного Степу України, оскільки його застосування забезпечило прибавку біологічної урожайності на рівні 0,47-1,04 т/га на всіх варіантах залежно від густоти рослин та гібридного складу.

При проведенні дисперсійного аналізу також було визначено частки впливу факторів та їх взаємодії на формування урожайності зерна, що є основною продукцією (Рис. 4.2).

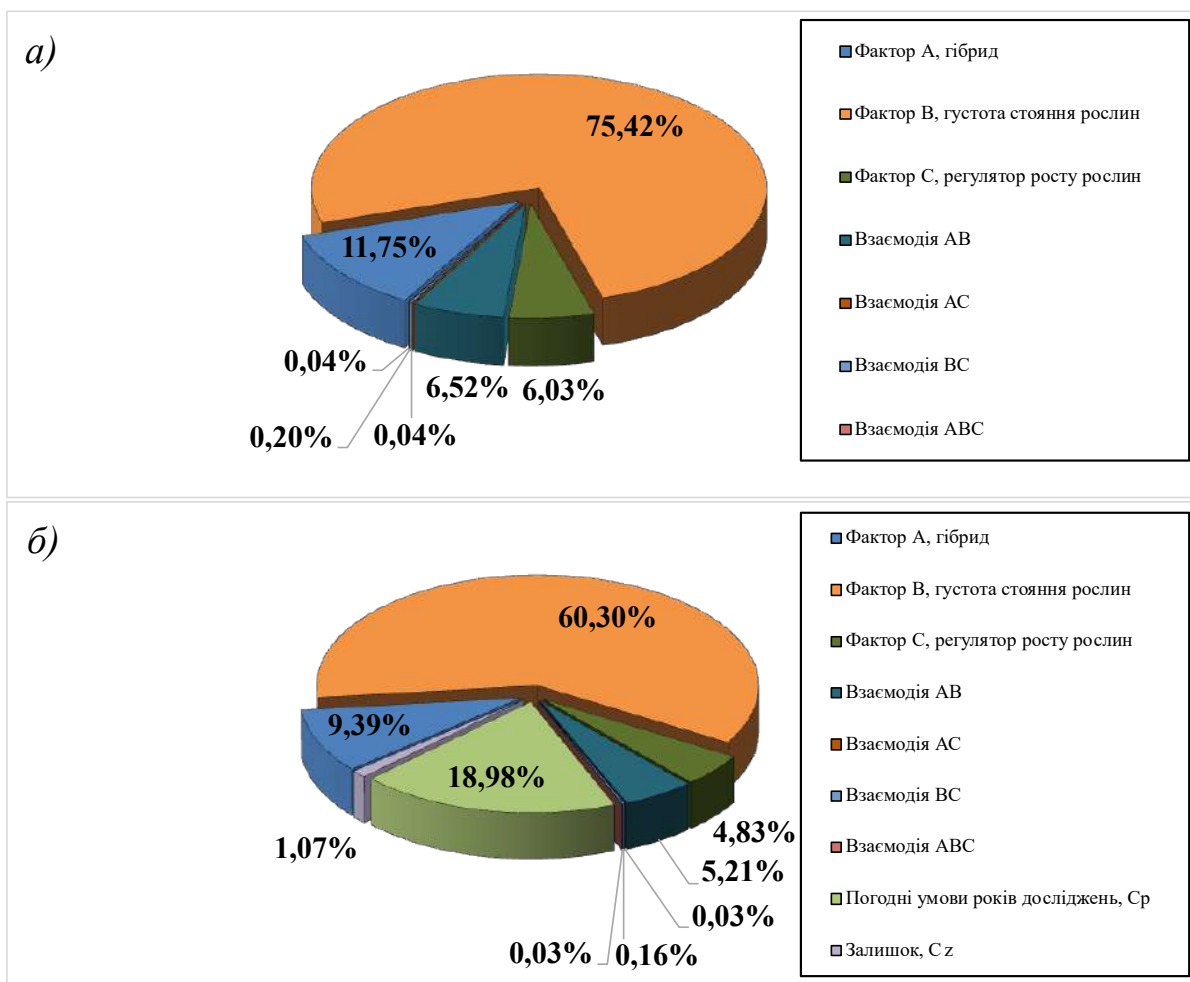


Рис. 4.2 Вплив досліджуваних факторів та їх взаємодія на урожайність зерна сорго зернового за результатами дисперсійного аналізу (середнє за 2022-2024 рр.), %: а) факторна сума квадратів; б) загальна сума квадратів

Аналіз розрахунків підтверджує ключову роль густоти рослин (фактор В) у формуванні урожайності сорго зернового в умовах дефіциту вологи, властивих для північної частини зони Степу України (частка впливу ГСР становила 60,3%). Друге місце з найбільшою часткою впливу посіли погодні умови років досліджень, які є неконтрольованими, через що у наших дослідженнях виступають супутнім фактором (частка впливу становила 19%). Частка впливу залежно від гібриду становила 9,4%, від застосування регулятору росту – 4,8%, а взаємодія факторів А і В – 5,21%. Згідно проведеного аналізу, частка впливу взаємодії інших факторів була несуттєвою.

4.2. Аналіз якісних показників зерна сорго зернового залежно від досліджуваних факторів

Якість рослинної продукції, що виробляється в аграрному виробництві, залежить як від абіотичних та біотичних факторів, так і від антропогенних (агротехнічних) факторів. А вирішальним чинником у підвищенні якісних властивостей зерна є весь комплекс агротехнічних заходів у агрофітоценозах, які повинні бути спрямовані на створення оптимальних умов росту самої рослини та формування зерна [82]. Зокрема, такими заходами є генетичні особливості гібридного або сортового складу, ширина міжряддя, густота рослин та застосування мінеральних добрив [48; 79; 105; 125]. Також на якісні показники зерна, за даними Рихлівського І. П. та Бурдиги В. М., суттєво впливають строки сівби, обґрунтований вибір яких залежить від ґрунтово-кліматичних умов, стану ґрунту, його вологості, біологічних особливостей сортів та гібридів, а також від цілей, для яких вирощується культура [73; 111].

Якість зерна сорго зернового регламентується технічними умовами ДСТУ 4962:2008 для використання зерна на продовольчі, кормові та технічні потреби та для експортування (не поширюється на сорго насіннєве). Нормативні показники до якості зерна сформовані залежно від напрямків використання і поділяють сорго на 3 класи: I клас – для виробництва круп, борошна, пасти; II клас – для виробництва крохмалю та патоки; III клас – на кормові потреби та для виробництва біоетанолу. До основних показників належать вологість зерна, зернова та сміттева домішки. Технічні умови не регламентують натуру, вміст білку, крохмалю та танінів, проте кожен з цих показників є важливим на відповідних етапах використання або переробки.

Зокрема, вміст білка у зерні сорго зернового є одним з ключових факторів для визначення поживності зерна та його частки у складі комбікормів або годівлі тварин, тому цей показник став об'єктом наших досліджень (Таблиця 4.2). Результати лабораторних аналізів зерна гібридів сорго зернового залежно від досліджуваних факторів представлені у Таблиця 4.2.

Таблиця 4.2

Вміст білку у зерні гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин та регулятору росту рослин за роки проведення досліджень, %

Гібрид (Фактор А)	Густота стояння рослин, тис.шт./га (Фактор В)								
	170 (К)			200			230		
	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.
Контроль (вода) – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)									
Албанус	12,0	11,8	11,7	11,8	11,7	11,7	11,5	11,5	11,7
ЕС Муссон (К)	11,9	12,3	10,9	11,7	12,1	10,9	11,5	11,9	10,7
Калатур	11,3	11,4	10,8	11,2	11,3	10,8	11,0	11,1	10,7
ЕС Фоен	12,5	12,6	11,2	12,4	12,5	11,2	12,2	12,3	11,1
ЕС Алізе	11,8	12,0	10,5	11,7	11,8	10,5	11,5	11,6	10,4
Регулятор росту рослин – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)									
Албанус	12,2	12,0	12,0	12,0	11,8	12,0	11,9	11,5	11,9
ЕС Муссон (К)	12,1	12,5	11,1	12,0	12,3	11,1	11,8	12,0	10,9
Калатур	11,5	11,6	11,0	11,4	11,5	11,0	11,2	11,2	10,8
ЕС Фоен	12,7	12,9	11,4	12,5	12,7	11,4	12,3	12,4	11,2
ЕС Алізе	12,0	12,4	10,7	11,9	12,3	10,7	11,7	12,0	10,5

Так, у загальному вміст білку у зерна за роки проведення досліджень коливався у межах 10,4-12,9%, маючи суттєву різницю між гібридами, а також між варіантами контролю та із застосуванням РРР. Серед дослідних варіантів найбільший вміст білка у зерні був у гібриду ЕС Фоен за густоти стояння рослин 170 та 200 тис.шт./га із застосуванням регулятору росту рослин – 11,4-12,9% та 11,4-12,7% відповідно. Найменша істотна різниця становила за фактором А – 0,22%; В – 0,18%; С – 0,14%; для взаємодії АВ – 0,38%; АС – 0,32%; ВС – 0,24%; АВС – 0,54%. Разом з тим, суттєва різниця спостерігалася лише за впливу факторів, а не їх взаємодії. Також визначено частки впливу факторів на вміст білка у зерні, серед яких найбільшу роль мав гібридний склад (79,2%), друге місце зайняла густота рослин (11,8%) та третє місце – застосування РРР (8,4%).

За даними Бойко М. О., принциповим показником, за яким оцінюють придатність зерна сорго для подальшої технологічної переробки, є вміст у ньому полісахаридів, передусім крохмалю. За умови вмісту крохмалю більше

55-60% сировина вважається придатною для переробки для отримання кінцевого продукту [13]. Вміст крохмалю у зерні досліджуваних гібридів сорго зернового представлений у Таблиця 4.3.

Таблиця 4.3

Вміст крохмалю у зерні гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин та регулятору росту за роки проведення досліджень, %

Гібрид (Фактор А)	Густота стояння рослин, тис.шт./га (Фактор В)								
	170 (К)			200			230		
	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.
Контроль (вода) – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)									
Албанус	62,6	60,3	57,3	61,0	59,4	56,0	59,0	58,7	54,2
ЕС Муссон (К)	75,0	73,8	71,3	73,6	73,0	70,8	72,9	72,2	70,2
Калатур	74,3	72,8	68,2	72,3	70,8	65,2	68,3	67,5	63,0
ЕС Фоен	74,6	73,0	68,8	73,0	71,1	65,6	68,7	67,7	63,0
ЕС Алізе	68,8	67,9	63,7	66,7	65,8	62,5	64,4	63,8	60,2
Регулятор росту рослин – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)									
Албанус	63,2	61,0	58,0	61,5	60,0	56,7	59,4	59,1	54,5
ЕС Муссон (К)	75,6	74,4	72,0	74,1	73,8	71,2	73,3	72,5	70,6
Калатур	74,8	73,2	68,7	72,8	71,0	65,7	68,9	68,0	63,4
ЕС Фоен	75,2	73,5	69,1	73,8	71,6	66,0	69,1	68,2	63,5
ЕС Алізе	69,3	68,4	64,2	67,2	66,3	63,1	64,9	64,4	60,5

Дисперсійний аналіз показав, що суттєва різниця спостерігалася лише за дії факторів А, В, С, а також взаємодії гібридів з густотою рослин. Так, у загальній сумі квадратів ключову роль у формуванні вмісту крохмалю відігравав гібридний склад (73,9%), потім – погодні умови років дослідження (15%), густота рослин (8,5%), взаємодія гібридів та густоти рослин (1,3%), а також застосування регулятора росту (0,2%).

Динаміка вмісту крохмалю у зерні сорго була обернено-пропорційною до загущення посівів: найбільші показники спостерігалися на гібридах за густоти рослин 170 тис.шт./га, а найменші – за густоти рослин 230 тис.шт./га. Ймовірно ця закономірність обумовлена конкуренцією рослин за світло, водні ресурси та поживні речовини при загущенні посівів. Найбільший вміст крохмалю у середньому за роки дослідження зафіксовано у гібриду ЕС Муссон

за густоти рослин 170 тис.шт./га із застосуванням РРР – 74,0%, за таких самих умов у гібриду ЕС Фоен – 72,6%, та у гібриду Калатур – 72,2%.

Натура зерна є важливим показником якості зерна сорго зернового, який тісно пов'язаний з виповненістю і щільністю зерна, а також його розміром та формою. Цей показник використовують як на переробних підприємствах (низька натура свідчить про можливі погані органолептичні властивості борошна чи інших продуктів із сорго), а також на виробництві при плануванні та організації логістичних операцій [84]. Натура зерна гібридів сорго зернового залежно від досліджуваних факторів представлена у Таблиця 4.4.

Таблиця 4.4

Натура зерна гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин та регулятору росту рослин за роки проведення досліджень, г/л

Гібрид (Фактор А)	Густота стояння рослин, тис.шт./га (Фактор В)								
	170 (К)			200			230		
	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.
Контроль (вода) – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)									
Албанус	640	660	610	630	655	605	625	645	595
ЕС Муссон (К)	730	755	615	720	745	610	715	740	605
Калатур	630	640	615	625	635	605	625	630	600
ЕС Фоен	770	790	740	760	780	735	755	775	735
ЕС Алізе	700	710	680	690	705	675	680	700	670
Регулятор росту рослин – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)									
Албанус	645	670	630	635	660	620	630	655	605
ЕС Муссон (К)	740	760	625	730	755	620	720	750	615
Калатур	640	655	630	635	645	625	630	640	615
ЕС Фоен	780	805	750	770	790	745	760	785	745
ЕС Алізе	705	725	690	700	715	680	685	710	675

Найбільша натура зерна у середньому за роки дослідження була зафіксована у гібриду ЕС Фоен при густоті рослин 170 тис.шт./га із застосуванням РРР – 778 г/л. При цьому найвищі показники даний гібрид зберігав і при густоті рослин 200 тис.шт./га (768 г/л) та 230 тис.шт./га (763 г/л). При цьому HP_{05} становила для факторів: А – 15 г/л; В – 12 г/л; С – 10 г/л; для взаємодії АВ – 26 г/л; АС – 22 г/л; ВС – 17 г/л та АВС – 37 г/л.

Загалом, натура зерна мала тенденцію до зниження зі збільшенням густоти рослин. Так, у середньому за роки досліджень за густоти рослин 170 тис.шт./га на варіантах контролю натура зерна становила у гібриду Калатур – 628 г/л, ЕС Алізе – 697 г/л, у ЕС Фоен – 767 г/л, у Албанус – 637 г/л, у ЕС Муссон – 700 г/л. Застосування РРР забезпечило зростання натури на 1-2% залежно від гібриду.

На контрольних варіантах з густотою рослин 200 тис.шт./га спостерігалось зменшення натури зерна на 1% у всіх гібридів порівняно з попередніми умовами. Так, вона становила у гібриду Калатур – 622 г/л, ЕС Алізе – 690 г/л, у ЕС Фоен – 758 г/л, у Албанус – 630 г/л, у ЕС Муссон – 692 г/л. Застосування РРР забезпечило зростання натури теж на 1-2% залежно від гібриду, однак значення були меншими порівняно з варіантами за густоти рослин 170 тис.шт./га.

За збільшення густоти рослин до 230 тис.шт./га зерно сорго досягло наступних показників: у гібриду Калатур – 618 г/л, ЕС Алізе – 683 г/л, у ЕС Фоен – 755 г/л, у Албанус – 622 г/л, у ЕС Муссон – 687 г/л. Тобто, зменшення по варіантах становило менше 1% порівняно з варіантами густоти рослин 200 тис.шт./га. Застосування РРР забезпечило зростання натури на 1-2% залежно від гібриду.

Отже, за середніми значеннями за роки проведення досліджень, найоптимальнішою комбінацією факторів можна вважати гібрид ЕС Фоен з густотою рослин 170 тис.шт./га із застосуванням РРР «Аппетайзер», що забезпечив формування натури зерна на рівні 745-790 г/л.

4.3. Математичне моделювання впливу елементів технології вирощування на формування урожайності сорго зернового

Математичне моделювання урожайності сільськогосподарських культур шляхом лінійної регресії має досить високу помилку оцінювання, що дозволяє припустити, що характер залежності не є лінійним. Це пов'язано з тим, що лінійна регресія з коефіцієнтами, обчисленими на основі методу найменших квадратів, є коректною тільки у випадку, якщо змінні моделі є випадковими величинами, розподіленими за нормальним законом з постійною дисперсією. Якщо припущення про нормальність не виконується, то лінійна модель буде допускати значну помилку [116; 156].

Нелінійна модель є набагато складнішою, що вимагає професійного володіння математичною статистикою, проте у результаті такого оцінювання отримана модель формування урожайності сільськогосподарських культур має достатньо високу точність. Водночас це дає можливість використовувати нелінійні моделі у аграрному виробництві для достовірного прогнозування та проектування урожайності [12].

Проведений попередньо дисперсійний аналіз вказував на істотний вплив досліджуваних факторів на варіацію показників продуктивності. Для оцінки загальновидових тенденцій було побудовано кореляційну матрицю за методом Пірсона, де вихідними даними виступали середні значення показників продуктивності, листового апарату та продуктивності фотосинтезу. Даний підхід дозволить оцінити потенційні залежності показників і потім дослідити їх на сортовому рівні і з врахуванням чинника обробки посівів регуляторами росту рослин.

В результаті проведеного аналізу (Таблиця 4.5) встановлено, що суттєвий лінійний зв'язок між густиною стояння та параметрами продуктивності відмічався лише у пар «ГСП – урожайність зерна», «ГСП – площа листа (всі 3 періоди)» та «ГСП – фотосинтетичний потенціал у період «цвітіння–воскова

стиглість»». У всіх зазначених випадках коефіцієнт кореляції був позитивним, тобто зі збільшенням густоти стояння рослин збільшувалися показники.

Таблиця 4.5

Кореляційна матриця показників продуктивності сорго зернового (за середніми значеннями), метод парної лінійної кореляції Пірсона

Показники	ГС	SY	Lt	Nat	Tiller	SL_1	SL_2	SL_3	ФП_1	ФП_2	ФП_3	ЧПФ_1	ЧПФ_2	ЧПФ_3
ГС	1,00	0,49	-0,26	-0,11	0,14	0,72	0,56	0,41	0,30	0,17	0,37	0,00	0,11	-0,02
SY	0,49	1,00	0,08	0,00	0,12	0,55	0,37	0,37	0,13	-0,06	0,24	0,43	0,57	0,45
Lt	-0,26	0,08	1,00	0,02	0,22	-0,18	-0,18	-0,12	-0,11	-0,28	0,07	0,13	0,28	-0,03
Nat	-0,11	0,00	0,02	1,00	0,59	0,14	0,24	0,23	0,37	0,26	0,34	-0,26	-0,23	-0,29
Tiller	0,14	0,12	0,22	0,59	1,00	0,15	0,21	0,17	0,22	0,06	0,43	-0,10	0,01	-0,32
SL_1	0,72	0,55	-0,18	0,14	0,15	1,00	0,95	0,91	0,76	0,65	0,69	-0,38	-0,25	-0,26
SL_2	0,56	0,37	-0,18	0,24	0,21	0,95	1,00	0,97	0,84	0,80	0,72	-0,54	-0,47	-0,40
SL_3	0,41	0,37	-0,12	0,23	0,17	0,91	0,97	1,00	0,85	0,79	0,74	-0,55	-0,47	-0,41
ФП_1	0,30	0,13	-0,11	0,37	0,22	0,76	0,84	0,85	1,00	0,68	0,69	-0,83	-0,52	-0,54
ФП_2	0,17	-0,06	-0,28	0,26	0,06	0,65	0,80	0,79	0,68	1,00	0,42	-0,64	-0,84	-0,39
ФП_3	0,37	0,24	0,07	0,34	0,43	0,69	0,72	0,74	0,69	0,42	1,00	-0,47	-0,22	-0,75
ЧПФ_1	0,00	0,43	0,13	-0,26	-0,10	-0,38	-0,54	-0,55	-0,83	-0,64	-0,47	1,00	0,78	0,72
ЧПФ_2	0,11	0,57	0,28	-0,23	0,01	-0,25	-0,47	-0,47	-0,52	-0,84	-0,22	0,78	1,00	0,57
ЧПФ_3	-0,02	0,45	-0,03	-0,29	-0,32	-0,26	-0,40	-0,41	-0,54	-0,39	-0,75	0,72	0,57	1,00

Примітка: ГС – густота стояння, SY – урожайність зерна, Lt – довжина волоті, Nat – натура зерна, Tiller – коефіцієнт кущіння, SL_1 – Середня площа листа за міжфазний період «вихід у трубку–викидання волоті», SL_2 – ... за період «викидання волоті–цвітіння», SL_3 – за період «цвітіння–воскова стиглість», ФП_1 (ФП_2, ФП_3) – фотосинтетичний потенціал у відповідні періоди, ЧПФ_1 (ЧПФ_2, ЧПФ_3) – чиста продуктивність фотосинтезу у відповідні періоди

Урожайність зерна також мала істотну кореляцію з площею листя та чистою продуктивністю фотосинтезу у всі досліджувані періоди. За градацією кореляція між урожайністю була середньою (діапазон 0,4–0,6).

Слід зазначити, що у дослідах з густотою стояння рослин лінійна кореляція конкретно з цим показником не є показовою, бо при достатньо-широкому діапазоні параметрів може змінюватися габітус рослин, а продуктивність посіву знижуватися при екстримально-високих параметрах.

Щодо інших показників, які не мають лінійної кореляції з густотою стояння рослин - це явище проявляється рідше. В той же час між цими показниками є істотний зв'язок, що базується на принципі розрахунку цих показників.

Наприклад, площа листя в окремі фенологічні фази має коефіцієнт кореляції, який наближається до 1 (більше 0,9), що вказує на стабільність формування цього параметру та відсутність аномальних чинників, які б перешкоджали росту. Щодо показників фотосинтетичного потенціалу, то кореляція з площею листя є сильною, або дуже сильною ($R = 0,69–0,85$). Проте чиста продуктивність фотосинтезу має істотну негативну кореляцію з середньою площею листя та фотосинтетичним потенціалом. Слід відмітити, що ця кореляція є дуже сильною негативною у відповідні періоди розвитку ($-0,83$ між ЧПФ та ФП у період «вихід у трубку викидання волоті»; $-0,84$ у період «викидання волоті–цвітіння» та $-0,75$ у період «цвітіння–воскова стиглість»).

Оскільки залежність між урожайністю зерна та густотою стояння є середньою позитивною, то слід розрахувати коефіцієнт детермінації, який при $R=0,49$ становитиме $0,24 (R^2)$, тобто лінійна модель пояснюватиме лише 24 % всіх випадків у досліді.

З огляду на це доцільним буде використати модель, у якій залежність між урожайністю та густотою стояння буде нелінійною. Для точності моделі та оцінці рівнянь регресії всі випадки було проаналізовано окремо по роках (Рис. 4.3), а відповідні рівняння регресії наведено в Таблиця 4.6.

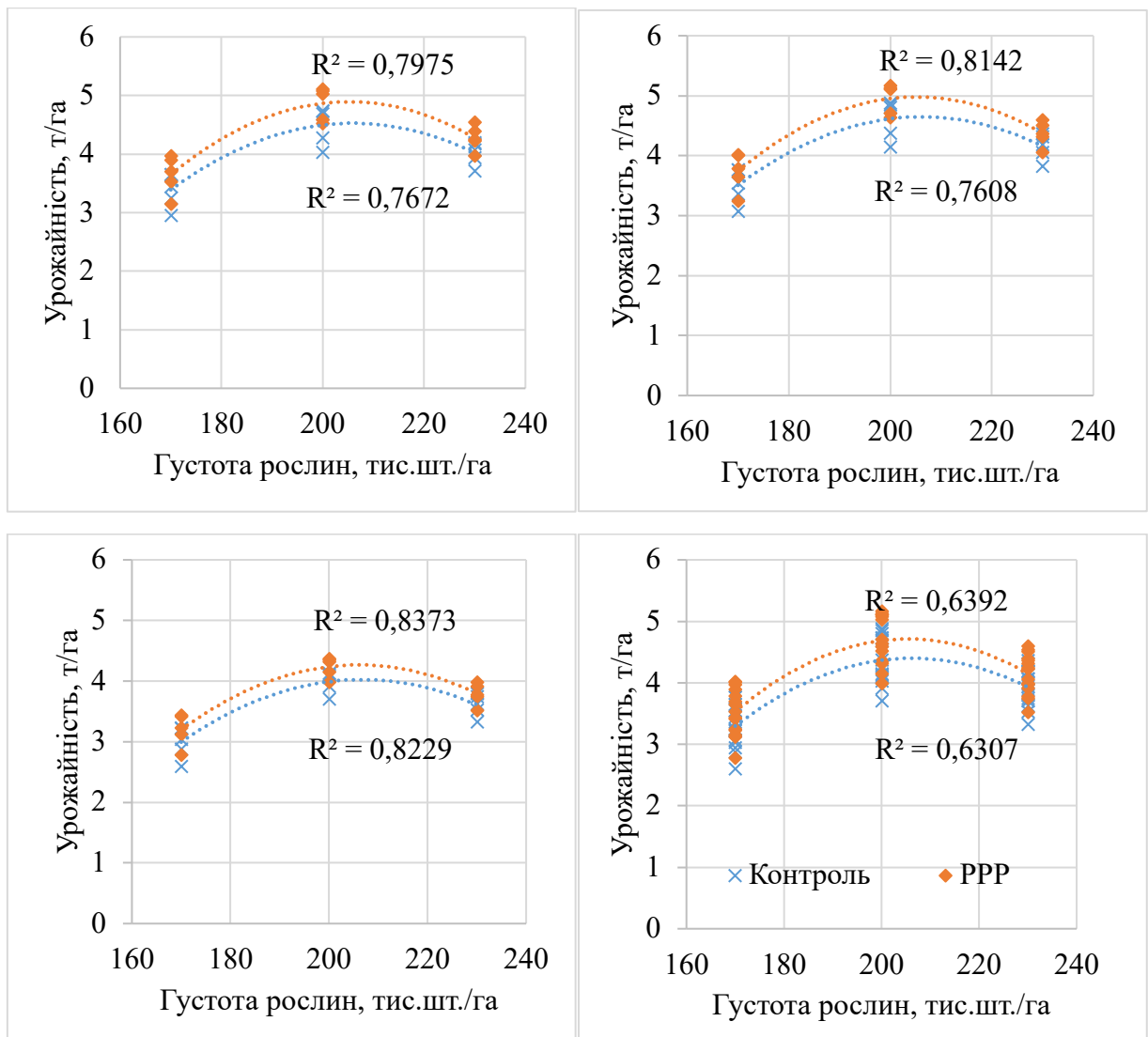


Рис. 4.3. Поліномінальні моделі залежності урожайності сорго зернового від густоти рослин

При аналізуванні коефіцієнту детермінації встановлено, що обробка посівів регуляторами росту посівів сприяла підвищенню цього показника, тобто відбувалося не лише збільшення урожайності, але й покращувалася стабільність та прогностичність.

В 2022 році коефіцієнт детермінації становив 0,7672 для контролю та 0,7975 для оброблених посівів. В 2023 році коефіцієнти детермінації були відповідно 0,7608 та 0,8142. Спільною особливістю цих років було те, що рівняння регресії також були подібними. У 2024 році урожайність сорго зернового була суттєво нижчою, ніж у попередні роки.

Рівняння регресії для зв'язку «Урожайність зерна–густота стояння»

Рік досліджень	Варіант обробки	
	Контроль	PPP
2022	$Y = -0,0009x^2 + 0,3612x - 32,673$	$Y = -0,001x^2 + 0,4118x - 37,354$
2023	$Y = -0,0009x^2 + 0,3592x - 32,39$	$Y = -0,001x^2 + 0,4078x - 36,875$
2024	$Y = -0,0008x^2 + 0,3165x - 28,679$	$Y = -0,0008x^2 + 0,3395x - 30,677$
2022–2024	$Y = -0,0008x^2 + 0,3456x - 31,246$	$Y = -0,0009x^2 + 0,3863x - 34,969$

Кореляція між врожайністю зерна та площею листя є позитивною у всі досліджувані періоди, проте найбільш тісною вона є в період «вихід в трубку – викидання волоті» (Рис. 4.4), оскільки коефіцієнт детермінації становив 0,28–0,29, тобто запропонована лінійна модель пояснювала 28 % всієї варіації. Відповідно, коефіцієнт кореляції становив 0,53, що відповідає зв'язку середньої сили. Зі збільшенням площі листя врожайність зростає (синій лінійний тренд: $y = 0,2389x - 0,3436$, $R^2 = 0,2835$); помаранчевий (обробка регуляторами): $y = 0,2633x - 0,6202$, $R^2 = 0,2862$). Більший кут нахилу обробленої культури свідчить про трохи вищу віддачу врожаю на одиницю листової площі під впливом PPP, тоді як коефіцієнти детермінації для обох варіантів майже однакові. Отже чинники, які сприяють збільшенню площі листя також будуть і сприяти збільшенню урожайності в цю фазу.

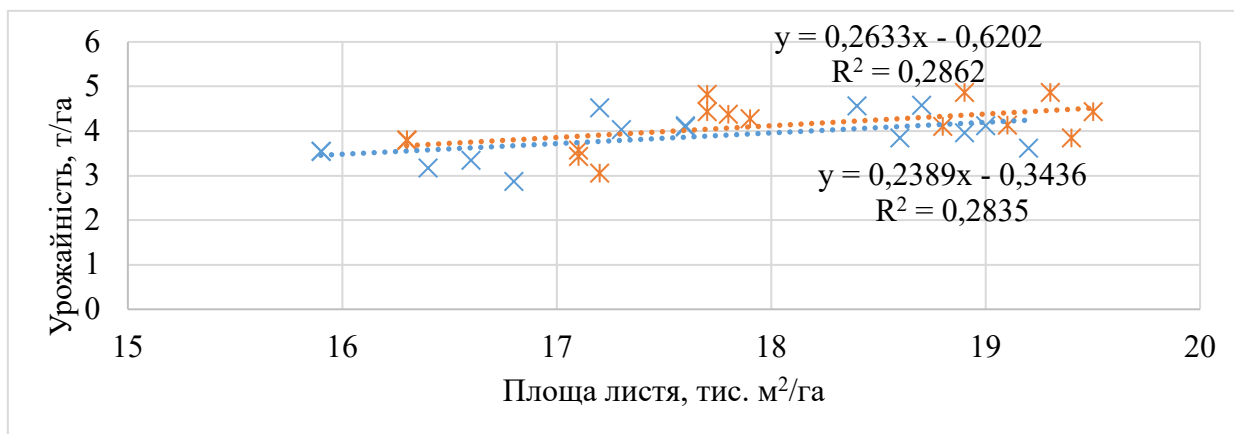


Рис. 4.4. Залежність урожайності сорго від середньої площі листя у міжфазний період «вихід у трубку–викидання волоті»

В наступні періоди спостережень варіація площі листя зростала, а відповідна залежність з урожайністю були слабшими (Рис. 4.5). Приріст врожайності на кожну одиницю площі листового апарату знижувався

(рівняння регресії для контрольного варіанту $y=0,1154x+0,9854$, ($R^2=0,1388$), а коефіцієнт кореляції становив лише 0,37, що свідчить про слабкий позитивний зв'язок між урожайністю та площею листя в цей період. Щодо блоку даних з посівів, що оброблялися регуляторами росту то запропоноване рівняння регресії $y=0,1109x+1,2960$, ($R^2=0,0954$), вказує на ще слабший зв'язок.

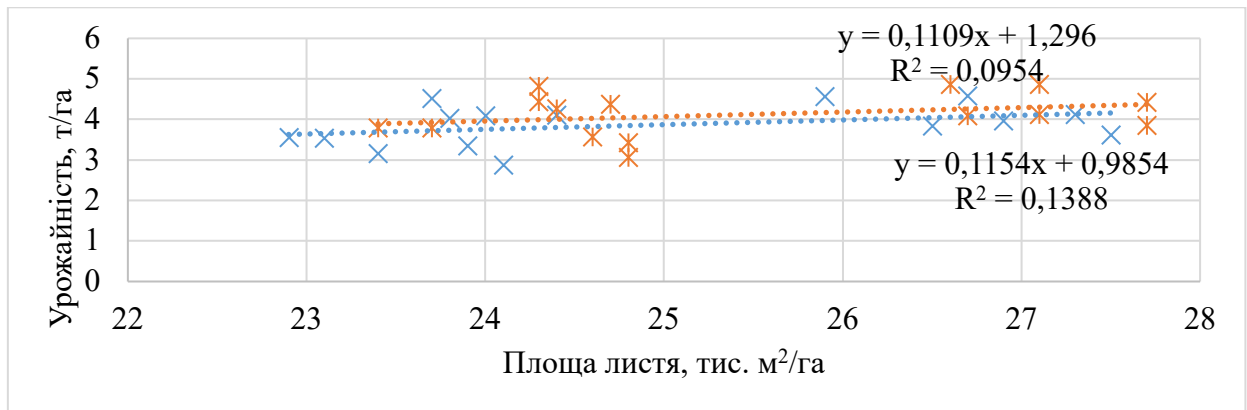


Рис. 4.5. Залежність урожайності сорго від середньої площі листя у міжфазний період «викидання волоті–цвітіння»

Подібна тенденція була в період «цвітіння–воскова стиглість», де коефіцієнт детермінації залишався малим (Рис. 4.6). Запропоновані рівняння регресії характеризували 9,87 % варіації у посівів, що оброблялися регуляторами росту та 14,3 % варіації у варіантів без обробки посівів.

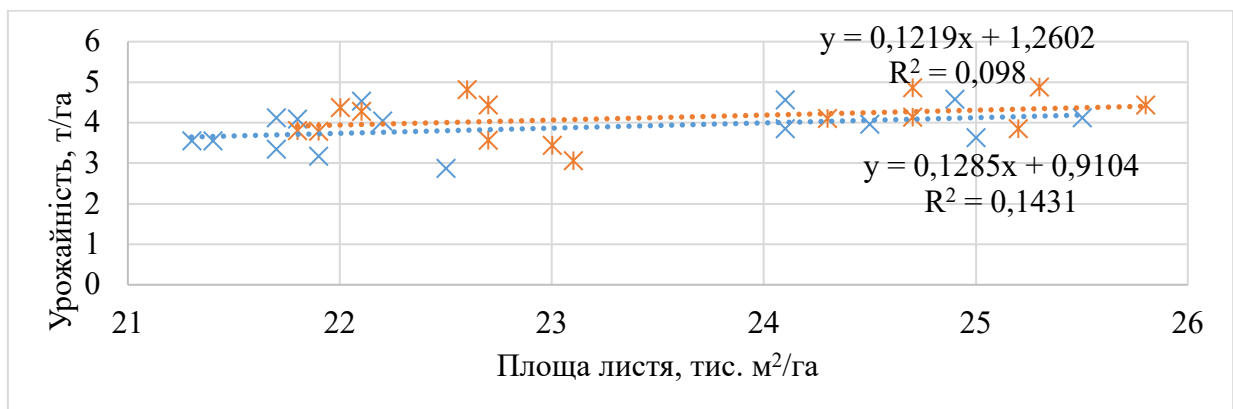


Рис. 4.6. Залежність урожайності сорго від середньої площі листя у міжфазний період «цвітіння–воскова стиглість»

На відміну від урожайності чиста продуктивність фотосинтезу є комплексним показником, який залежить як від площі листя так і від тривалості періоду активного фотосинтезу (життя листового поверхні).

Таким чином зі старінням листків ці процеси сповільнюються і як наслідок посіви з більшою площею мають нижчі показники ЧПФ.

У період «вихід у трубку–викидання волоті» () та наступні періоди залежність ЧПФ була негативною. Зі збільшенням площі листя продуктивність фотосинтезу знижувалася. Запропоновані рівняння регресії по різному описували ці процеси.

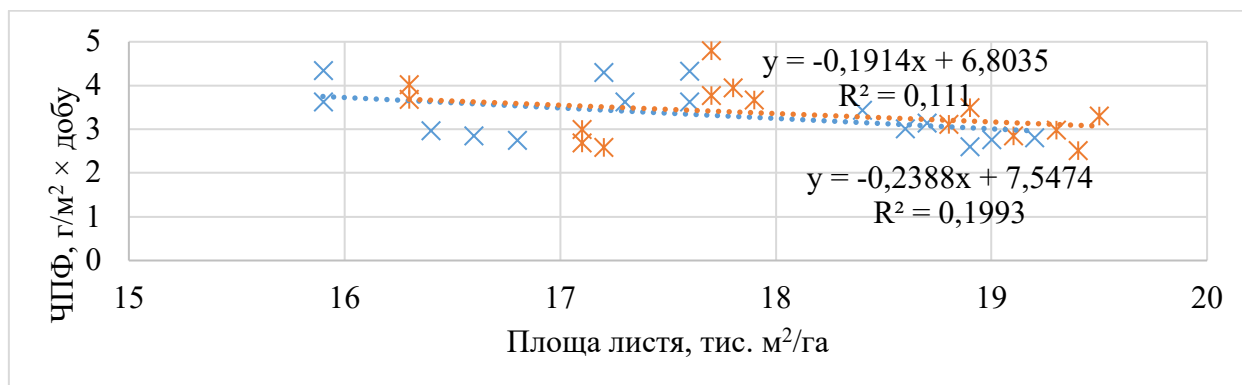


Рис. 4.7. Залежність чистої продуктивності фотосинтезу сорго від середньої площі листя у міжфазний період «вихід у трубку–викидання волоті»

На контрольному варіанті рівняння регресії ($y = -0,2388x + 7,5474$, $R^2 = 0,1993$) описувало майже 20 % варіації, а за обробки посівів регулятором росту посівів лише в 11 % випадків ($y = -0,1914x + 6,8035$, $R^2 = 0,1110$). Слід відмітити, що лінії тренду не є паралельними, отже регулятори росту покращують ефективність фотосинтезу, бо кут нахилу є гострішим.

У наступний період тренд також негативний, але жорсткіше виражений у посівів з обробкою регуляторами росту рослин (Рис. 4.8). Згідно рівнянь регресії (контроль $y = -0,1599x + 8,1203$, $R^2 = 0,2064$; РРР $y = -0,1983x + 9,2678$, $R^2 = 0,2972$), у оброблених посівів запропонована модель описує більше випадків (29,7% проти 20,66 % у необроблених, а коефіцієнт кореляції відповідав середньому за силою зв'язку 0,45 у контролю та 0,55 у посівів РРР. Більший коефіцієнт детермінації для оброблених посівів свідчить про сильнішу зворотну залежність ЧПФ від площі листя при застосуванні регулятору росту.

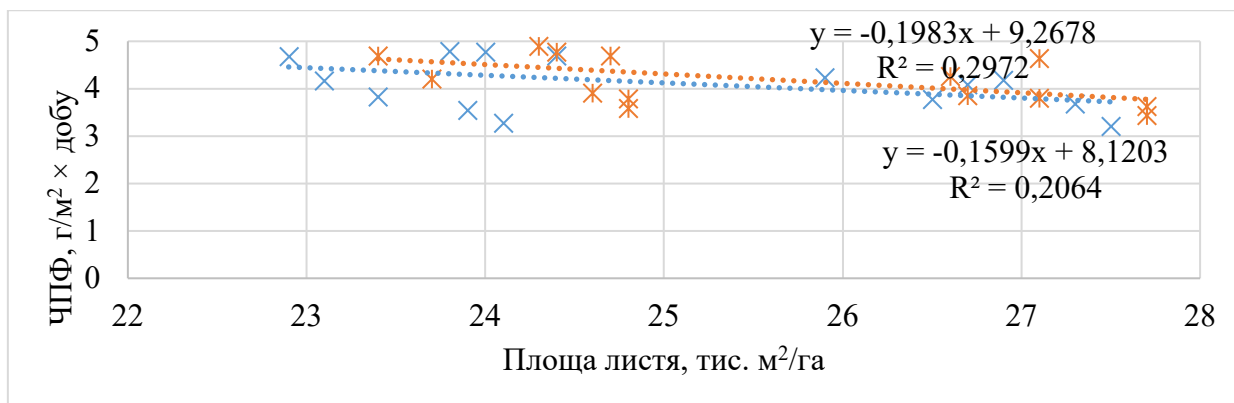


Рис. 4.8. Залежність чистої продуктивності фотосинтезу сорго від середньої площі листя у міжфазний період «викидання волоті–цвітіння»

Наприкінці вегетації («цвітіння–воскова стиглість») вплив площі листя на чисту продуктивність фотосинтезу суттєво знижувався (Рис. 4.9). Коефіцієнти при змінній були найменшими.

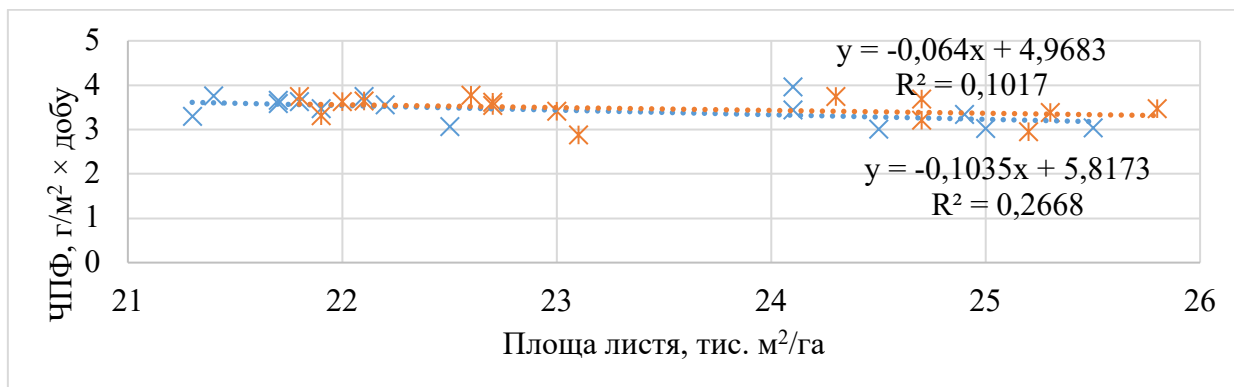


Рис. 4.9. Залежність чистої продуктивності фотосинтезу сорго від середньої площі листя у міжфазний період «цвітіння–воскова стиглість»

Запропоноване рівняння регресії для оброблених РРР посівів описує незначну кількість випадків, особливо ($y = -0,0640x + 4,9683$, $R^2 = 0,1017$). У випадку посівів без обробки лінійна модель описує близько 27 % випадків ($y = -0,1035x + 5,8173$, $R^2 = 0,2668$), а коефіцієнт кореляції відповідає середній негативній кореляції між площею листя та чистою продуктивністю фотосинтезу. Обробка регулятором росту помітно зменшує модуль нахилу, однак пояснювальна здатність моделі для обох варіантів залишається низькою, що свідчить про незначний вплив площі листя на динаміку ЧПФ наприкінці вегетації.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ТА БІОЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ СОРГО ЗЕРНОВОГО

5.1. Аналіз економічної ефективності технології вирощування гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин та застосування регулятора росту

На основі отриманих даних нами був виконаний аналіз економічної ефективності технології вирощування сорго зернового з досліджуваними факторами з урахуванням ключових показників (Додаток J), таких як урожайність, витрати на виробництво, доходи, прибуток та рентабельність.

Витрати на виробництво продукції визначали за фактично використаними матеріалами та ресурсами, що були передбачені технологічною картою вирощування культури та згідно актуальних цін на ресурси на момент їх придбання. Витратні статті включали у себе насіння, добрива, засоби захисту рослин, пально-мастильні матеріали та оплату праці. Дохід розраховували за фактичною ціною реалізації продукції з урахуванням підвищеної ціни за біле сорго, оскільки протягом останніх років спостерігається високий попит на нього для використання у харчовій промисловості. При визначенні головного показника економічної ефективності технології вирощування сорго зернового – прибутку – доцільним є визначення саме валового прибутку (який являє собою різницю між доходом та собівартістю продукції) з вирахуванням податку на додану вартість (ПДВ), а не чистого прибутку (в якому також вираховуються поточні загально-виробничі витрати компанії та інші податки). Це дає змогу оцінити саму технологію вирощування сорго зернового з досліджуваними факторами (Таблиця 5.1) незалежно від організаційно-структурної моделі підприємства, новизни та стану його матеріально-технічної бази, а також загально-виробничих витрат.

Рентабельність інвестицій (Return On Investment - ROI) – показник, який використовується для оцінки ефективності інвестицій та вимірює величину

прибутку від інвестицій по відношенню до її вартості. Рентабельність (ROI) виражається у відсотках.

Таблиця 5.1

Оцінка економічної ефективності технології вирощування сорго зернового залежно від досліджуваних факторів протягом періоду досліджень (за середніми показниками 2022-2024рр.), грн/га

ГСП, тис.шт./га	К / РРР	Гібрид	Витрати	Дохід	Прибуток	ROI, %
170 (К)	К	Албанус	11598	22718	6576	56,7
		ЕС Муссон (К)	11554	22692	6600	57,1
		Калатур	11471	26010	9337	81,4
		ЕС Фоен	11619	17339	2252	19,4
		ЕС Алізе	11575	20126	4525	39,1
	РРР	Албанус	11922	24229	7462	62,6
		ЕС Муссон (К)	11878	24300	7561	63,7
		Калатур	11795	28167	10738	91,0
		ЕС Фоен	11943	18503	2859	23,9
		ЕС Алізе	11899	21103	4983	41,9
200	К	Албанус	11936	25949	8823	73,9
		ЕС Муссон (К)	11884	28947	11274	94,9
		Калатур	11787	29180	11557	98,1
		ЕС Фоен	11961	23721	7016	58,7
		ЕС Алізе	11909	21339	5162	43,3
	РРР	Албанус	12260	28455	10504	85,7
		ЕС Муссон (К)	12208	30811	12441	101,9
		Калатур	12111	31086	12758	105,3
		ЕС Фоен	12285	25212	7885	64,2
		ЕС Алізе	12233	22928	6109	49,9
230	К	Албанус	12274	26190	8678	70,7
		ЕС Муссон (К)	12214	26372	8883	72,7
		Калатур	12102	24613	7588	62,7
		ЕС Фоен	12302	20555	4142	33,7
		ЕС Алізе	12243	18799	2796	22,8
	РРР	Албанус	12598	27365	9294	73,8
		ЕС Муссон (К)	12539	28015	9873	78,7
		Калатур	12426	26250	8573	69,0
		ЕС Фоен	12626	21433	4520	35,8
		ЕС Алізе	12567	19965	3405	27,1

Результати свідчать про значну варіативність економічних показників технології вирощування сорго зернового залежно від використаного гібриду, густоти стояння рослин та застосування регулятора росту рослин (Рис. 5.1). Так, найменший показник ROI спостерігався у контрольному варіанті

середньо-раннього гібриду ЕС Фоен за густоти стояння рослин 170 тис.шт./га (19,4%), дещо більшу рентабельність за тієї ж густоти мали гібриди ЕС Алізе (39,1%), Албанус (56,7%) та ЕС Муссон (57,1%), а найвищий показник мав гібрид Калатур (81,4%). Це зумовлено найбільшою зерновою продуктивністю за вищевказаних умов, а також за рахунок високого попиту на біле зерно сорго, і відповідно вищої ціни. При цьому застосування PPP «Аппетайзер» сприяло збільшенню рентабельності на 3,8-6,2% залежно від гібриду.

При збільшенні густоти рослин до 200 тис.шт./га спостерігалася різке збільшення рентабельності на 14,4%-45,9% порівняно з варіантами густоти рослин 170 тис.шт./га попри більші витрати на насіння. За показниками рентабельності усі гібриди досягли максимуму за густоти рослин 200 тис.шт./га, при чому як на контролі, так і з застосуванням регулятора росту (+5,5-9,3% прибавки ROI залежно від гібриду). Так, найбільша рентабельність була зафіксована на варіанті гібриду Калатур при густоті стояння рослин 200 тис.шт./га із застосуванням PPP (105,3%). Також високе значення ROI мали контрольні варіанти гібридів Калатур (98,1%), Албанус (73,9%) та ЕС Муссон (94,9%) при густоті стояння рослин 200 тис.шт./га та варіанти із застосуванням PPP гібридів Албанус (85,7%) та ЕС Муссон (101,9%).

Подальше збільшення густоти рослин до 230 тис.шт./га призвело до зменшення ROI на 3,0-28,5% залежно від гібриду на варіантах контролю, та на 9,8-29,3% на варіантах застосування PPP порівняно з варіантами з ГСР=200 тис.шт./га. Це свідчить про ключову роль густоти рослин у формуванні продуктивності сорго зернового та, відповідно, рентабельності його вирощування. А застосування PPP при ГСР=230 тис.шт./га порівняно з варіантами контролю забезпечило прибавку ROI на 2,1-5,1% залежно від гібриду.

Варто зазначити, що у середньому значення ROI при застосуванні PPP на варіантах з ГСР=170 тис.шт./га збільшувалося на 4,9%, при ГСР=200 тис.шт./га збільшувалося на 6,6%, та ГСР=230 тис.шт./га збільшувалося на 3,8%.

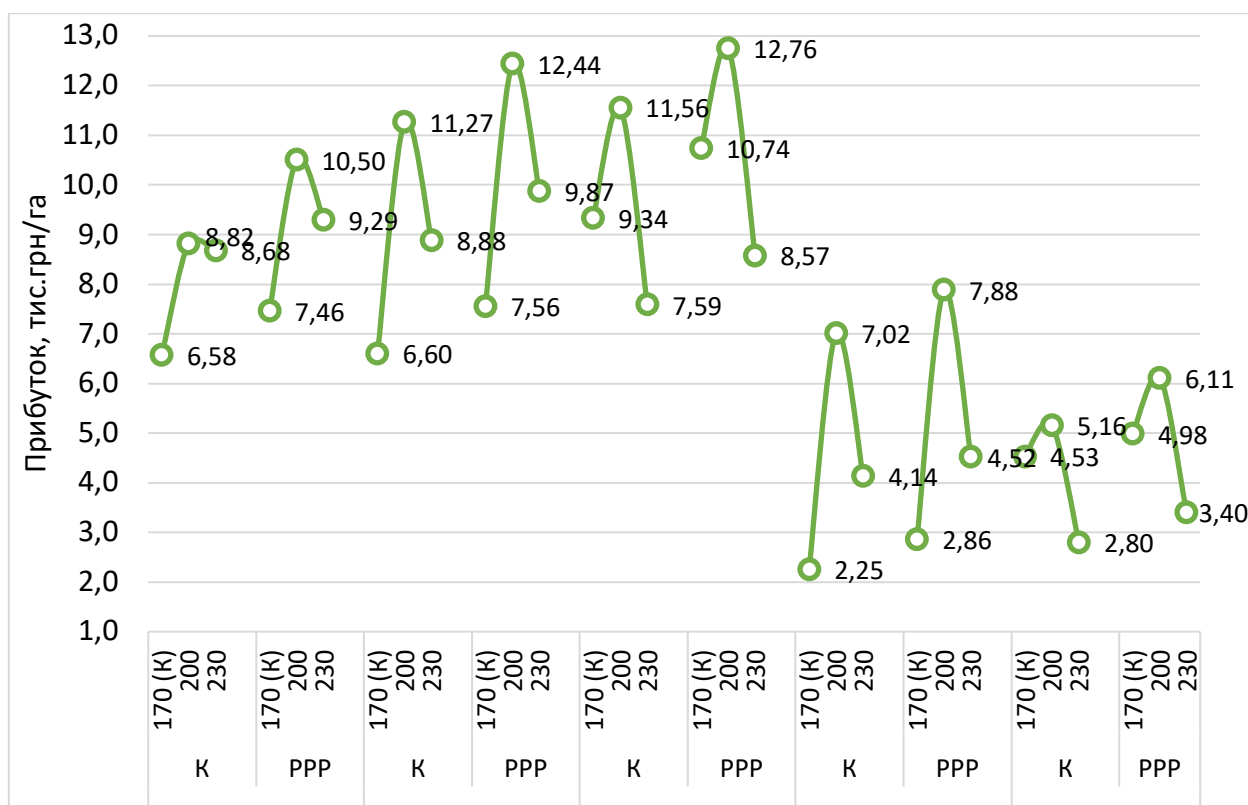


Рис. 5.1 Рентабельність технології вирощування сорго зернового залежно від досліджуваних факторів протягом періоду досліджень (за середніми показниками 2022-2024рр.)

Отже, низькі показники прибутку та рентабельності на більшості варіантах з ГСР= 170 тис.шт./га свідчать про те, що посіви з такою густотою є малоефективними та, відповідно, недоцільними в ґрунтово-кліматичних умовах Північного Степу України. За результатами оцінки найбільш оптимальною густотою рослин є 200 тис.шт./га, а подальше збільшення густоти до 230 тис.шт./га призводить до зменшення урожайності та, відповідно, показника ROI.

5.2. Оцінка біоенергетичної ефективності технології вирощування сорго зернового за впливу досліджуваних факторів

Біоенергетична оцінка технологій вирощування сільськогосподарських культур дає можливість визначити енерговитратні ланцюги, проаналізувати процеси перетворення потоків енергії в екосистемах, оцінити витрати техногенної енергії для визначення перспективних напрямків розвитку агротехнологій. Основними засадами біоенергетичної суті виробництва є найбільш повне використання природних енергетичних ресурсів (ФАР), зменшення антропогенного навантаження та запобігання деградаційним процесам внаслідок нього (хімічні меліоранти, добрива, засоби захисту рослин, паливо-мастильні матеріали, тощо), створення сталих, екологічно-безпечних агроекологічних систем виробництва, спрямованих на збільшення родючості ґрунту та біопродуктивності сільськогосподарських культур [147].

Головна перевага енергетичної оцінки технологій вирощування с/г культур полягає у єдиних сталих величинах виміру (ГДж) у певний проміжок часу на відміну від економічних показників, для яких характерні коливання залежно від ринкових умов, інфляційних процесів, закупівельних та реалізаційних цін.

Біоенергетична оцінка передбачає визначення надходження ФАР на посіви с/г культур за вегетаційний період, затрат антропогенних та техногенних ресурсів на вирощування культур та вихід енергії урожаю с/г культур за вегетаційний період (Додаток К). За вищенаведеними характеристиками слід визначити коефіцієнт використання рослинами фотосинтетично-активної радіації $K_{\text{ФАР}}$ та коефіцієнт енергетичної ефективності вирощування культури ($K_{\text{еє}}$).

Результати аналізу усереднених даних за роки проведення досліджень свідчать про суттєву різницю ефективності використання ФАР та коефіцієнт

енергетичної ефективності гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин та застосування регулятору росту рослин (Рис. 5.2).

Вода		Урожайність продукції, т/га		Вегетац. період, діб	Енергоємність урожаю, ГДж/га	Антропогенні енерговитрати, ГДж/га	Загальні енерговитрати, ГДж/га	Енерг. прибуток, ГДж/га	К _{фар} , %	Коефіцієнт енергетичної ефективності
Гібрид	Густота	Основна	Побічна							
Калатур	170	3,68	6,65	110	119,7	21,2	42,05	78	0,92	5,65
	200	4,11	7,51	108	134,6	21,2	42,40	92	1,03	6,34
	230	3,53	6,35	106	114,6	21,3	42,76	72	0,88	5,38
Алізе	170	3,60	6,49	117	117,0	21,2	41,04	76	0,90	5,52
	200	3,71	6,71	115	120,8	21,2	41,35	79	0,93	5,69
	230	3,33	5,95	113	107,6	21,3	41,67	66	0,83	5,06
Фоен	170	3,04	5,37	111	97,6	21,2	41,90	56	0,75	4,60
	200	4,13	7,55	110	135,3	21,2	42,09	93	1,04	6,37
	230	3,63	6,55	108	118,0	21,3	42,43	76	0,90	5,55
Албанус	170	3,23	5,75	103	104,2	21,2	43,20	61	0,80	4,91
	200	3,92	7,13	100	128,0	21,2	43,77	84	0,98	6,03
	230	3,75	6,79	98	122,2	21,3	44,18	78	0,94	5,74
Муссон	170	3,22	5,73	108	103,8	21,2	42,36	61	0,80	4,90
	200	4,08	7,45	107	133,6	21,2	42,56	91	1,02	6,29
	230	3,80	6,89	105	123,9	21,3	42,92	81	0,95	5,82

PPP		Урожайність продукції, т/га		Вегетац. період, діб	Енергоємність урожаю, ГДж/га	Антропогенні енерговитрати, ГДж/га	Загальні енерговитрати, ГДж/га	Енерг. прибуток, ГДж/га	К _{фар} , %	Коефіцієнт енергетичної ефективності
Гібрид	Густота	Основна	Побічна							
Калатур	170	4,02	7,33	112	131,5	21,3	41,80	90	1,01	6,19
	200	4,35	7,99	110	142,9	21,3	42,14	101	1,10	6,71
	230	3,75	6,79	107	122,2	21,3	42,65	80	0,94	5,73
Алізе	170	3,78	6,85	119	123,2	21,3	40,83	82	0,94	5,80
	200	3,99	7,27	117	130,5	21,3	41,13	89	1,00	6,13
	230	3,52	6,33	114	114,2	21,3	41,58	73	0,88	5,35
Фоен	170	3,23	5,75	113	104,2	21,3	41,66	63	0,80	4,90
	200	4,37	8,03	112	143,6	21,3	41,84	102	1,10	6,74
	230	3,78	6,85	109	123,2	21,3	42,33	81	0,94	5,78
Албанус	170	3,44	6,17	105	111,4	21,3	42,91	69	0,85	5,24
	200	4,15	7,59	102	136,0	21,3	43,46	93	1,04	6,39
	230	3,92	7,13	99	128,0	21,3	44,04	84	0,98	6,00
Муссон	170	3,42	6,13	115	110,8	21,3	41,37	69	0,85	5,21
	200	4,32	7,93	108	141,9	21,3	42,45	99	1,09	6,66
	230	3,99	7,27	106	130,5	21,3	42,81	88	1,00	6,12

Ефективність використання ФАР:
К _{фар} <1 - низька
К _{фар} =1-1,5 - середня
К _{фар} >1,5 - висока

Коефіцієнт енергетичної ефективності	Енергетична віддача урожаєм на одиницю антропогенної енергії				
	<2	2-4	4-6	6-8	>8
	неефективна	низька	середня	висока	дуже висока

Рис. 5.2 Біоенергетична оцінка технології вирощування сорго зернового за впливу досліджуваних факторів протягом періоду досліджень (за середніми показниками 2022-2024рр.)

Вищенаведені розрахунки свідчать, що найнижчим рівнем використання ФАР характеризувалися посіви з густотою стояння рослин 170 тис.шт./га на контрольних варіантах (К_{ФАР}=0,75-0,92) та із застосуванням PPP (зі значенням К_{ФАР} в межах 0,80-1,01), що свідчить про низьку та середню ефективність використання посівами ФАР. Відповідно, ці варіанти мали найнижчий коефіцієнт енергетичної ефективності (К_е=4,60-5,65 для варіантів без PPP та

$K_{ee}=4,90-6,19$ з застосуванням РРР). Найбільшими показниками за даної густоти рослин серед варіантів контролю відзначилися пізньостиглий гібрид ЕС Алізе і середньо-ранній гібрид Калатур; а із застосуванням РРР – Албанус, ЕС Алізе та Калатур.

Найвищими показниками $K_{ФАР}$ та K_{ee} характеризувалися варіанти з густотою стояння рослин 200 тис.шт./га без застосування РРР ($K_{ФАР}=0,93-1,04$) та із застосуванням РРР (зі значенням $K_{ФАР}$ в межах 1,00-1,10), що свідчить про середню та високу ефективність використання посівами ФАР. Коефіцієнт енергетичної ефективності коливався від 5,69 до 6,37 для варіантів без застосування РРР та, відповідно, від 6,13 до 6,74 для варіантів із застосуванням РРР. Збільшення густоти стояння рослин призвело до зниження використання посівами ФАР та показника K_{ee} . Найбільшими показниками за густоти рослин 200 тис.шт./га характеризувалися середньо-ранні гібриди Калатур, ЕС Фоен та ЕС Муссон як на варіантах контролю, так і з застосуванням РРР.

Варіанти з густотою рослин 230 тис.шт./га характеризувалися показниками $K_{ФАР}$ та K_{ee} зі значеннями між показниками варіантів з ГСР 170 та 200 тис.шт./га. Так, за густоти рослин 230 тис.шт./га найбільші показники K_{ee} мали середньо-ранні гібриди: ЕС Муссон (на контролі – 5,82; варіант з РРР – 6,12), Калатур (на контролі – 5,38; варіант з РРР – 5,73) та ЕС Фоен (на контролі – 5,55; варіант з РРР – 5,78). За цієї ж густоти високі показники також мав ранній гібрид Албанус (на контролі – 5,74; варіант з РРР – 6,00), а пізньостиглий гібрид ЕС Алізе відрізнявся найменшими показниками – 5,06 на контролі, та 5,35 на варіанті з застосуванням РРР.

У загальному серед усіх варіантів у розрізі гібридів найвищі показники біоенергетичної оцінки були зафіксовані на середньо-ранніх гібридах Калатур ($K_{ee} = 6,34-6,71$), ЕС Фоен ($K_{ee} = 6,37-6,74$) та ЕС Муссон ($K_{ee} = 6,29-6,66$) на варіантах з ГСР=200 тис.шт./га залежно від застосування регулятора росту.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне обґрунтування та результати експериментальних досліджень з оптимізації елементів технології вирощування сорго зернового у Північному Степу України, а саме гібридів різних груп стиглості, густоти рослин та застосування регулятора росту. Це дало змогу сформулювати наступні висновки:

1. Аналіз стану вирощування сорго зернового у світі та Україні свідчить про значний агробіологічний та економічний потенціал культури, який до сьогодні є невикористаним у вітчизняному виробництві через відсутність власних переробних потужностей та орієнтованість на експортний ринок. При цьому сорго зернове можна вважати альтернативною зерною культурою через невибагливість, стійкість та пластичність до несприятливих факторів, а також широкий спектр використання його зерна.

2. Проведені дослідження засвідчують, що у середньому за період 2022-2024 рр. тривалість вегетаційного періоду середньо-раннього гібрида Калатур складав 104-108 діб, у пізньостиглого гібрида ЕС Алізе – 113-118 діб, у середньо-раннього гібрида ЕС Фоен – 107-112 діб, у ранньостиглого гібрида Албанус – 96-101 діб, у середньо-раннього гібрида ЕС Муссон – 96-103 діб. При цьому густота рослин безпосередньо впливала на тривалість вегетації у всіх гібридів – із загущенням посівів тривалість скорочувалася на 1-3 доби, а застосування регулятора росту «Аппетайзер» подовжувало вегетацію рослин на 1-4 доби залежно від гібриду та густоти рослин.

3. Найбільші значення висоти рослин було зафіксовано у середньо-раннього гібриду ЕС Фоен (111-115 см) та пізньостиглого ЕС Алізе (112-113 см) за густоти рослин 170 та 200 тис.шт./га на варіантах із застосуванням регулятора росту. Висота рослин на варіантах контролю була меншою на 2-4 см у тих самих гібридів. Найменші показники висоти спостерігалися на варіантах контролю із загущенням рослин до 230 тис.шт./га у середньо-ранніх гібридів ЕС Муссон (93 см) та Калатур (99 см).

4. Найвищий фотосинтетичний потенціал був зафіксований під час проходження рослинами фаз «цвітіння-воскова стиглість» на контрольних варіантах за густоти 200 та 230 тис.шт./га у середньо-раннього гібриду ЕС Фоен (398,4-415,7 тис.м²/га*діб) та пізньостиглого гібриду ЕС Алізе (400,0-407,2 тис.м²/га*діб); за густоти рослин 170 тис.шт./га показники були дещо меншими, проте найбільші – у ранньостиглого гібриду Албанус (362,1 тис.м²/га*діб) та у пізньостиглого гібриду ЕС Алізе (360,0 тис.м²/га*діб) на варіантах контролю. Застосування регулятору росту було ефективним на всіх гібридах за різної густоти рослин, окрім гібридів Калатур та ЕС Фоен при загущенні посівів до 230 тис.шт./га. Натомість найвищою чистою продуктивністю фотосинтезу за період вегетації характеризувалися середньо-ранній гібрид ЕС Муссон (3,41-3,77 г/м² за добу) та ранньостиглий гібрид Албанус (3,33-3,42 г/м² за добу) за густоти рослин 170 та 200 тис.шт./га. Подальше збільшення густоти рослин призводило до зменшення продуктивності, за винятком гібриду Албанус. Також відмічено позитивний вплив на чисту продуктивність фотосинтезу при застосуванні РРР.

5. Максимальну урожайність зерна на контрольних варіантах на рівні 4,53-4,58 т/га забезпечили середньо-ранні гібриди сорго зернового ЕС Муссон, Калатур і ЕС Фоен за густоти рослин 200 тис.шт./га, а із застосуванням РРР «Аппетайзер» зафіксовано підвищення їх урожайності до 4,82-4,87 т/га. Дещо менша урожайність була у ранньостиглого гібриду Албанус за таких самих умов – 4,03 т/га на варіанті контролю та 4,44 т/га на варіанті із застосуванням регулятору росту. Найменші показники урожайності були зафіксовані за густоти рослин 170 тис.шт./га, зокрема середньо-раннього гібриду ЕС Фоен – 3,35-3,57 т/га залежно від застосування регулятору росту.

6. Якісні показники зерна сорго характеризувалися прямою залежністю від досліджуваних факторів. Так, вміст білку у зерні передусім залежав від гібриду: найбільші показники були зафіксовані у гібридів ЕС Фоен, Албанус та ЕС Муссон – в межах 11,9-12,9% за густоти рослин 170-200 тис.шт./га та залежно від застосування РРР. Зі збільшенням густоти рослин до 230

тис.шт./га вміст білку зменшувався до 10,4-11,9%. Щодо вмісту крохмалю у зерні, то значною мірою він теж залежав від гібриду, а також погодних умов протягом періоду досліджень: найбільший вміст був у гібридів Калатур, ЕС Фоен та ЕС Муссон за густоти рослин 170 тис.шт./га – від 74,3 до 75,6% залежно від застосування PPP; за густоти рослин 200 тис.шт./га – в межах 65,2-74,1% залежно від застосування PPP; за густоти рослин 230 тис.шт./га – в межах 63,0-73,3% залежно від застосування PPP. Натура зерна мала тенденцію до зниження зі збільшенням густоти рослин і становила в межах 610-805 г/л за густоти рослин 170 тис.шт./га; в межах 605-790 г/л за густоти рослин 200 тис.шт./га; в межах 600-785 г/л за густоти рослин 230 тис.шт./га. Найбільша натура була зафіксована у гібридів ЕС Фоен та ЕС Муссон із застосуванням регулятору росту «Аппетайзер».

7. Результати математичного моделювання процесу формування урожайності сорго зернового за різних умов вирощування дають змогу стверджувати, що найвищими адаптивними можливостями відносно комплексу абіотичних та біотичних умов Північного Степу характеризуються середньо-ранні гібриди Калатур, ЕС Фоен та ЕС Муссон. Також встановлено суттєвий лінійний зв'язок між густотою рослин та урожайністю зерна, площею листової поверхні та фотосинтетичним потенціалом. Зі збільшенням густоти рослин збільшувалися і вищевказані показники.

8. Економічна ефективність, виражена у рентабельності (ROI), головним чином залежала від густоти рослин і характеризувалася найбільшими показниками ROI за ГСР 200 тис.шт./га - 41,3-60,3% на варіантах контролю, та 49,9-66,2% при застосуванні регулятору росту у гібридів середньо-ранньої групи стиглості Калатур, ЕС Фоен та ЕС Муссон. Найменша рентабельність виявилася за густоти рослин 170 тис.шт./га і становила в межах 2,8-27,2% для варіантів контролю та 6,6-32,5% для варіантів із застосуванням регулятору росту «Аппетайзер». При загущенні посівів до 230 тис.шт./га показник ROI становив в межах 22,8-39,9% для варіантів контролю, а на варіантах із застосуванням PPP – в межах 27,1-44,8% залежно від гібриду.

9. Найвищими показниками біоенергетичної ефективності, а саме $K_{\text{ФАР}}$ та $K_{\text{сє}}$, характеризувалися варіанти з густотою стояння рослин 200 тис.шт./га без застосування РРР ($K_{\text{ФАР}}=0,93-1,04$) та із застосуванням РРР (зі значенням $K_{\text{ФАР}}$ в межах 1,00-1,10), що свідчить про середню та високу ефективність використання посівами ФАР. Коефіцієнт енергетичної ефективності коливався від 5,69 до 6,37 для варіантів без застосування РРР та, відповідно, від 6,13 до 6,74 для варіантів із застосуванням РРР. Збільшення густоти стояння рослин призвело до зниження використання посівами ФАР та показника $K_{\text{сє}}$. Найбільшими показниками за густоти рослин 200 тис.шт./га характеризувалися середньо-ранні гібриди Калатур, ЕС Фоен та ЕС Муссон як на варіантах контролю, так і з застосуванням РРР.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Високу продуктивність сорго зернового в умовах Північного Степу України можливо забезпечити за рахунок дотримання високого рівня агротехніки, у яку рекомендується включити наступні елементи технології вирощування сорго зернового:

1. за ґрунтово-кліматичних умов, близьких до умов років досліджень, для вирощування використовувати гібриди середньо-ранньої групи стиглості, а саме: Калатур, ЕС Фоен та ЕС Муссон;
2. формувати густоту стояння рослин гібридів сорго зернового на рівні 200 тис.шт./га для забезпечення оптимальних умов росту та розвитку рослин, при цьому при нормі висіву враховувати параметри схожості насіння, стан ґрунту, його вологість та відсоток ймовірних втрат протягом вегетаційного періоду через несприятливі фактори;
3. застосовувати регулятор росту рослин «Аппетайзер» у фазу 4-5 листків з нормою витрати препарату 0,5 л/га та у фазу 7-8 листків з нормою витрати препарату 0,5 л/га на посівах для підвищення біометричних та структуро-морфологічних показників рослин, а також якісних характеристик зерна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аверчев О. В., Осінній О. А. Науково-виробничі рекомендації з технології вирощування сорго, проса і гречки в агроеліоративному полі рисової сівозміни. Грінь Д. С., 2015. URL: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/670> (дата звернення: 27.04.2025).
2. Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. Київ : ВЕГО «МАМА-86», 2014. 16 с.
3. Алдошин А. В., Самойленко А. Т., Федоренко Е. М. та ін. Особливості насінництва соргових культур. Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України. 2013. №5. С. 104–110.
4. Атлас морфологічних ознак сорго двокольорового *Sorghum bicolor* L.: атлас. Український інститут експертизи сортів рослин – Київ : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. 37 с. URL: <https://sops.gov.ua/uploads/page/5b0518170e3a7.pdf>
5. Базалій В. В., Бойко М. О., Алмашова В. С. та ін. Рослинницькі аспекти та агроекологічні засади вирощування сорго зернового на півдні України. 2015. URL: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/5682>
6. Байса І. П. Колекція сорго: формування, вивчення і використання зразків генофонду. Зернові культури. 2018. Т. 2, №1. С. 14–21. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0002>.
7. Безручко О. І. Поповнення ринку сортів рослин України: сорго звичайне (двокольорове) (*Sorghum bicolor* (L.) Moench / О. І. Безручко, Н. П. Джулай // Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. - 2012. - № 3. - С. 45-51. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/stopnsr_2012_3_14. DOI:10.21498/2518-1017.3(17).2012.58830.
8. Безугла Л. С. Економічний аспект територіального виробництва амаранту, коноплі та сорго в Україні. Економіка та суспільство. 2021. № 25. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-25-79>.

9. Бикін, А. В. Фенологічні особливості сорго зернового залежно від впливу елементів технології вирощування [Текст] / А. В. Бикін, Т. В. Антал, В. М. Найдено // Таврійський науковий вісник / . - Херсон : Вид. дім "Гельветика", 2019. - Вип.107: Сільськогосподарські науки. - С. 12-21 URL: <http://dSPACE.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/1325>
10. Білоус-Сергєєва С. Біоекономіка та циркулярна економіка: синергія для забезпечення сталого розвитку. Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Економічні науки. 2024. № 1(39). С. 141–150. DOI: [https://doi.org/10.31498/2225-6725.1\(39\).2024.319286](https://doi.org/10.31498/2225-6725.1(39).2024.319286)
11. Бобровська О. Ю., Серьогін С. М., Бородин Є. І. Стан і нові можливості соціально-економічного розвитку Дніпропетровської області. Монографія. Дніпро : ДРІДУ НАДУ, 2019. 276 с. URL: <http://212.1.86.13/xmlui/handle/123456789/5967>
12. Бойко М. О. Використання нелінійних нейронних мереж для моделювання урожайності сорго зернового в умовах південного Степу України. Вісник Дніпропетровського державного аграрно–економічного університету. 2016. Т. 40, №2. С.118-125.
13. Бойко М. Підвищення врожайності та якості зерна гібридів сорго зернового у зоні Південного Степу України. Вісник аграрної науки. 2024. Т. 102, № 8. С. 73–80. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202408-08>
14. Бойко М.О. Формування асиміляційного апарату гібридів сорго зернового в залежності від строків сівби та густоти посівів. Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. Херсон: Грінь Д.С., 2017. Вип. 97. С. 18-22. URL: <http://dSPACE.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/9186>
15. Буряк С. Особливості впливу регуляторів росту рослин на насіннєву продуктивність ліній батьківських компонентів гібридів кукурудзи. Вісник Львівського національного аграрного університету. Агрономія. № 23. С. 152–158. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.152>
16. Буценко Л. М., Пирог Т. П. Біотехнологічні методи захисту рослин. Київ : Видавництво Ліра-К, 2021. 346 с.

17. Буценко Л., Решетников М. Бактеріальні хвороби соргових культур. Вісник аграрної науки. 2022. Т. 100, № 1. С. 20–25. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202201-03>
18. Веденичова Н. П., Косаківська І. В. Цитокініни як регулятори онтогенезу рослин за різних умов зростання. Київ : Наш формат, 2017. 200 с.
19. Гамаюнова В.В., Федорчук М.І., Хоненко Л.Г. Соргові культури та доцільність їх поширення на півдні України. Science and practice of today : Abstracts of IX scientific and practical conference. Ankara, Turkey, 16-19 november 2020. Р. 30-35. DOI: 10.46299/ISG.2020.11.IX / ISBN 978-1-63649-920-8
20. Геологія з основами мінералогії: Навч. посібник / Тихоненко Д. Г., Дегтярьов В. В., Щуковський М. А. та ін.; За ред. д-ра с.-г. наук, проф. Д.Г. Тихоненка. - К.: Вища освіта, 2003. – 287 с.
21. Герасименко Л.А. Захист посівів сорго зернового від бур'янів у Правобережному Лісостепу України / Л.А. Герасименко, Ю.П. Дубовий // Карантин і захист рослин. – Київ. – 2018. – № 3 (247). – С. 24–25. URL: <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/10006>
22. Гормональна система рослин за дії важких металів / І. В. Косаківська, В. А. Васюк, Л. В. Войтенко, М. М. Щербатюк. Київ : Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного, 2022. 176 с.
23. Господаренко Г. М., Климович П. В. Ефективність передзбиральної обробки сорго зернового розчинами азотних добрив і Реглоном. Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2006. Т. 37, № 4. С. 34–38.
24. Грищенко Р. Є. Фотосинтетична продуктивність посівів сорго зернового залежно від системи удобрення / Р. Є. Грищенко, О. Г. Любчич, О. В. Глієва, Я. В. Алексєєв // Зернові культури. - 2020. - Т. 4, № 1. - С. 122–129. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0115>
25. Давиденко С. Ю., Рожков А. О. Урожайність зерна сорго за різних варіантів застосування стимулятора росту Вегестим у Північному Степу

- України. Scientific Progress & Innovations. 2022. № 1. С. 18–28. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.01.02>
26. Демиденко Б. Г. Особливості вирощування сорго в Степу України та його використання. Київ : Видавництво УАСГН, 1963. 127 с.
 27. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 07.04.2025).
 28. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні. URL: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin>
 29. Дімова С. Б. Фітогормони - продукти життєдіяльності мікроорганізмів. Методи визначення. Сільськогосподарська мікробіологія. 2014. Вип. 18. С. 159–185. DOI: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.18.159-185>
 30. Добринін Г. М. Ріст та формування хлібних і кормових злаків. Львів: Колос, 1969. 275 с.
 31. Домарацький Є. О., Базалій В. В., Бойко М. О., Пічура В.І. Агробіологічне обґрунтування вирощування зернових культур в зоні Степу за умов кліматичних змін : монографія. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. 334 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/15095>
 32. ДСТУ 4138:2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2004-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 170 с. URL: https://fitolab-sk.dpss.gov.ua/wp-content/uploads/2024/01/dstu-4138_2002.pdf
 33. ДСТУ 4962:2008. Сорго. Технічні умови. [Чинний від 2010-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 10 с.
 34. ДСТУ 7169:2010 Корми, комбікорми, комбікормова сировина. Методи визначання вмісту азоту і сирого протеїну. [Чинний від 2011-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 16 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=89230
 35. ДСТУ ГОСТ 10840:2019. Зерно. Метод визначення натурі. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2019.

36. ДСТУ ISO 5983:2003 Корми для тварин. Визначення вмісту азоту і обчислювання вмісту сирого білка. Метод К'ельдаля. [Чинний від 2004-10-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 8 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91956
37. Економіка виробництва зерна в зоні Степу України (з основами організації і технології виробництва): [монографія] / [А. В. Черенков, В. С. Рибка, М. С. Шевченко та ін.]; за ред. А. В. Черенкова і В. С. Рибки // Ін-т сіл. госп-ва степ. зони НААН України. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2015. – 300 с.
38. Євтушенко В.І., Петрова І.В. Сорго в Україні: стан вирощування та перспективи розвитку. Аграрна наука та харчові технології. 2017. №1. С. 5-9.
39. Єрошенко О. М., Хоменко І. В., Лобода В. М. Вплив кислотності ґрунту на урожайність сорго зернового у Лісостепу України. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія. 2013. № 196. С. 147-152.
40. Іваніна В. В., Сипко А. О., Стрілець О. П. та ін. Вплив доз добрив на біоенергетичну продуктивність сорго цукрового. Біоенергетика. 2021. № 2. С. 21–23. DOI:10.47414/be.2.2021.244108.
41. Іванова К. Контроль розвитку шкідників сорго в Лісостепу України. Техніка і технології АПК. 2017. № 5. С. 21–23.
42. Іванова К. О. Фенологія і особливості поширення шкідників сорго в Лісостепу України. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2017. № 1–2. С. 161–166. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2017.1-2.32>
43. Іващенко О. О., Рудник-Іващенко О. І. Перспективи вирощування кукурудзи і сорго. Хімія. Агрономія. Сервіс : Всеукраїнське видання про сучасні агротехнології. 2021. № 12. С. 38–41.
44. Інформаційно-довідкова система «Сорт». URL: <http://sort.sops.gov.ua/search/search>

45. Каленська С. М., Дмитришак М. Я., Демидась Г. І. та ін. Рослинництво з основами кормовиробництва: Підручник. Вінниця : ТОВ «Нілан ЛТД», 2014. 650 с.
46. Каленська С. М., Єрмакова Л. М., Паламарчук В. Д. та ін. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві: Підручник. Вінниця : ФОП Рогальська І. О., 2015. 448 с.
47. Каленська С. М., Єрмакова Л. М., Свистунов Ю. В. та ін. Вплив передпосівної обробки насіння та посівів комплексними регуляторами росту рослин на урожайність гібридів кукурудзи. Аграрні інновації. 2025. № 29. С. 59–65. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.29.10>
48. Каленська, С. М. Якісний склад зерна сорго залежно від елементів технології вирощування / С. М. Каленська, В. М. Найдено // Таврійський науковий вісник / . - Херсон : Вид. дім "Гельветика", 2019. - Вип.105: Сільськогосподарські науки. - С. 82-89. URL: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/1704>
49. Каражбей Г. М. Продуктивність сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* L.) залежно від рівня мінерального живлення та густоти стояння / Г. М. Каражбей, С. В. Тегун // Збірник наукових праць [Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків]. - 2012. - Вип. 14. - С. 67-70. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpicb_2012_14_17.
50. Каражбей Г. М. Стан і перспективи сорго зернового в Україні. Селекція і насінництво. 2012. № 101. С. 150–155. DOI: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2012.59749>
51. Кващук О. В., Сучек М. М., Хоміна В. Я. та ін. Круп'яні культури. Навчальний посібник. Кам'янець-Подільський : ПП «Медобори-2006», 2013. 288 с.
52. Кириченко В. В., Чернобай Л. М., Буряк С. Ю. Effects of plant growth regulators on seed productivity of maize lines. Селекція і насінництво. 2023. № 123. С. 18–38. DOI: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2023.283646>

53. Коломієць Л. В. Продуктивність кукурудзи та сорго в сумісних посівах з іншими культурами в північному Степу України : дис... канд. с.-г. наук : 06.01.12. Кіровоград, 2006. - 173 с.
54. Кучер А., Кучер Л., Пащенко Ю. Циркулярна економіка в системі сталого розвитку аграрного сектора в умовах євроінтеграції. Економіка та суспільство. 2021 № 32. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-32-24>
55. Лапа О. М., Барбарук В. Т., Свиридов А. М. та ін. Зернове сорго в умовах України. ТОВ «Сингента», 2012. – 48 с.
56. Лобода В. М., Єрошенко О. М., Хоменко І. В. та ін. Вплив структури ґрунту на врожайність сорго зернового у Лісостепу України. Вісник аграрної науки. 2018. № 12. С. 42–47.
57. Любич В. В., Войтовська В. І., Сторожик Л. І., Приходько В. О. Характеристика жирно-кислотного складу олії сорго залежно від сортових особливостей. Новітні агротехнології. 2022. Т. 10, № 3. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.10.3.2022.270522>
58. Мазур В. А. Рослинництво: навч. пос. Вінниця : Видавництво ТОВ «Друк», 2020. 352 с.
59. Манько Ю. П., Цюк О. А., Павлов О. С. Методологія, методи і методика досліджень в агрономії: навчальний посібник. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2016. 96 с.
60. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ : Урожай, 1988. 205 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/708842/>
61. Науково-теоретичні засади та практичні аспекти формування еколого-безпечних технологій вирощування та переробки сорго в степовій зоні України : монографія / [М. І. Федорчук, С. В. Коковіхін, С. М. Каленська та ін.]. – Херсон, 2017. – 208 с.

62. Овсієнко І. А. Особливості формування урожайності зерна сорго залежно від строків сівби / І. А. Овсієнко // Сільське господарство та лісівництво. - 2015. - № 1. - С. 21-28. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agf_2015_1_5.
63. Овсянникова Л. К. Фізико-технологічні властивості сучасних сортів дрібнонасіненних культур. Зернові продукти і комбікорми. 2017. Т. 17, № 1. С. 9-15. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zpik_2017_17_1_3
64. Пащенко Ю.М., Андрієнко А.Л. Густота стояння рослин гібридів сорго в умовах північного Степу України. Бюл. ІЗГ. 2003. № 20-25. С. 17-25.
65. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур: підручник. 5-те вид., доповн., додатковий випуск. Львів : НВФ «Українські технології», 2022. 808 с.
66. Полянчиков С., Капітанська О. Екстракти морських водоростей, як біостимулятори росту рослин. Пропозиція. 2020. № 273. С. 2–3.
67. Попова О. П., Кулик М. І. Вплив позакореневої обробки посівів на врожайність біомаси сорго цукрового. Аграрні інновації. № 24. С. 123–134. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.24.18>
68. Правдива Л. А., Яланський О. В. Продуктивність та елементи структури врожайності різних сортів сорго звичайного двокольорового (*Sorghum bicolor* L.). Новітні агротехнології. 2022. Вип. 10, № 3. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.10.3.2022.270497>
69. Правдива Л.А. Вплив мінерального живлення рослин на формування біометричних показників сорго зернового / Л.А. Правдива // Агробіологія: збірник наукових праць. – 2022. – № 1. – С. 43–52. URL: <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/8426>
70. Присяжнюк О. І., Каленська С. М., Сторожик Л. І. та ін. Порівняння міжнародних та вітчизняних шкал росту та розвитку рослин роду сорго (*Sorghum*) : методичні рекомендації. Київ : Нілан-ЛТД, 2019. 32 с.
71. Про технологію вирощування сорго від А до Я: досвід США — найбільшого світового виробника. Пропозиція. URL:

<https://propozitsiya.com/ua/pro-sorgo-vid-do-ya-dosvid-ssha-naybilshogo-svitovogo-virobnika>

72. Ратушна Ю. Л. Маркетингові дослідження кон'юнктури ринку зерна (нішевих культур) // Вісник аграрної науки Причорномор'я. 2021. Вип. 4 (112). С. 35-44. DOI: [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-4\(112\)](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-4(112))
73. Рихлівський І. П., Бурдига В. М. Вплив строків сівби на продуктивні властивості сорго зернового та рисозерного. Корми і кормовиробництво. 2012. Вип. 73. С. 152-155. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kik_2012_73_28
74. Рожков А. О., Калинов О. О. Вплив передпосівної обробки насіння та листових підживлень на формування повітряно-сухої маси рослин соняшнику. Рослинництво, селекція і насінництво, плодовоовочівництво. Харків: ДБТУ, 2024. № 1 С. 6-23.
75. Рожков А. О., Свиридова Л. А. Вплив норм висіву, способів сівби та погодних умов вегетації на врожайність зерна гібридів сорго зернового. Селекція і насінництвом 2017. № 112. С. 193-204. DOI: <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2017.120454>
76. Саблук В. Т., Запольська Н. М., Шендрик К. М. та ін. Шкідники біоенергетичних культур та заходи контролювання їхньої чисельності. Аграрні інновації. 2022. № 14. С. 173–179. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.14.25>
77. Свиридов А. М. Ґрунтово-екологічні закономірності вирощування сорго. Біологічні системи. 2012. Т. 4, № 2. С. 207–209.
78. Сидоренко В. В., Малярчук В. М. Вирощування сорго в Південному Степу. Пропозиція. 2020. № 6. URL: <https://propozitsiya.com/ua/vyroshchuvannya-sorgo-v-pivdennomu-stepu>
79. Ситюк М. М., Іванів М. О. Вплив фону мінерального живлення на врожайність та якість сорго.Збірник наукових праць Перспектива. 2019. № 33. С. 161-163. URL: <http://dspace.ksaeu.kherson.ua/handle/123456789/3489>

80. Станкевич С. В., Забродіна І. В. Моніторинг шкідників сільськогосподарських культур: навч. посібник. Харк. нац. аграр. ун-т ім. В.В. Докучаєва. Х.: ФОП Бровін О.В., 2016. 216 с. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/24115>
81. Столяр С. Г., Трембіцька О. І. Обґрунтування розширення асортименту вирощування нішевих культур у Поліссі України для здорового харчування. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. 2025. № 46. С. 108–113. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-1.15>
82. Сторожик Л. І., Близнюк А. Ю., Кулик Г. А. Структурно-морфологічні показники врожаю сорго зернового в умовах Лісостепу України. Наукові доповіді НУБіП України. 2018. № 6. DOI: <https://doi.org/10.31548/dopovidi2018.06.011>
83. Сторожик Л. І., Музика О. В. Features of formation of productivity of sweet sorghum hybrids depending on the influence of agrotechnical factors: width of row spacing, crop quantity and processing by growth regulator. Plant varieties studying and protection. 2019. Vol. 15, No 2. P. 171–181. DOI: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.15.2.2019.173567>
84. Сухіна Д. В., Новицька Н. В. Якість зерна гібридів сорго зернового залежно від густоти рослин та регулятора росту в умовах Північного Степу України. Новітні агротехнології. 2025. Вип. 13, № 1. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.13.1.2025.327465>
85. Тараріко Ю. О., Городній М. М., Сердюк А. Г. та ін. Біоенергетична оцінка систем удобрення і агротехнологій. Навчальне видання. Київ, 2005. 40 с.
86. Тітаренко О. С., Карпук Л. М. Ефективність вирощування сорго зернового за різних заходів догляду за посівами. Новітні агротехнології. 2021. № 9. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.9.2021.259698>
87. Трохименко Г. Г. Аналіз можливості зниження фітотоксичності гербицидів за рахунок застосування біостимуляторів на основі

фульвокислот / Г. Г. Трохименко, О. І. Кібаров // 3б. наук. пр. НУК. – Миколаїв : Гельветика, 2023. – № 1 (490). – С. 209–218. URL: <https://eir.nuos.edu.ua/handle/123456789/6994>

88. Усата Н. Концептуальні основи циркулярної економіки в сільському господарстві. *Acta Academiae Beregsasiensis. Economics*. 2023. № 4. С. 153–163. DOI: <https://doi.org/10.58423/2786-6742/2023-4-153-163>
89. Федоришина Л. Проблема впливу глобальної зміни клімату на розвиток аграрної галузі в Україні: історичний екскурс. *Scientific Papers of the Vinnytsia Mykhailo Kotsyiubynskyi State Pedagogical University Series History*. 2024. № 50. С. 60–67. DOI: <https://doi.org/10.31652/2411-2143-2024-50-60-67>
90. Філоненко С. В., Смірних В. М., Тищенко М. В. Видовий склад і шкідливість фітофагів у посівах і посадках біоенергетичних культур. *Аграрні інновації*. 2025. № 29. С. 187–193. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.29.30>
91. Філоненко С. В., Тищенко М. В., Попов О. О. Реалізація продуктивного потенціалу кукурудзи за позакореневого внесення регуляторів росту. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2022. № 3. С. 31–39. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.03.04>
92. Формування стратегії диверсифікації аграрного виробництва через поширення практики вирощування нішевих зернових культур : монографія / А. Д. Діброва [та ін.]. - К. : ЦП "Компринт", 2024. - 319 с. URL: <https://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/4255>
93. Харченко Л. П., Єрошенко О. М., Лобода В. М. Вплив фізико-хімічних властивостей ґрунту на урожайність сорго зернового у Лісостепу України. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно- економічного університету*. 2016. № 4. С. 68–75.
94. Харченко О. В. Ресурсні рівні врожайності сільськогосподарських культур та їх екологічне оцінювання / О. В. Харченко, Ю. М. Петренко;

за ред. д.с.-г.н. О. В. Харченка. – Суми : видавничо-виробниче підприємство «Мрія», 2017. – 53 с.

95. Черенков А. В., Рибка В. С. та ін. Нормативно-методичний довідник з обґрунтування виробничих витрат у зерновому господарстві Степу України. За ред. А. В. Черенкова, В. С. Рибки. Дніпро : ДУ Інститут зернових культур НААН. 2017. 244 с.
96. Черчель В. Ю., Дзюбецький Б. В., Яланський О. В. та ін. Науково-методичні рекомендації. Сорго: технологія, переробка, використання, насінництво, та селекція. Каталог гібридів та сортів. Дніпро : ДУ ІЗК НААН України, 2023. 68 с.
97. Шевченко М. С., Лебідь Є. М., Десятник Л. М. Продуктивність науково обґрунтованих сівозмін у зоні Степу. Землеробство. 2015. № 1. С. 7–12.
98. Abreha K. B., Enyew M., Carlsson A. S. et al. Sorghum in dryland: morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress. *Planta*. 2022. Vol. 255, No 1. P. 20. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03799-7>
99. Al-Salman Y., Cano F. J., Mace E. et al. High water use efficiency due to maintenance of photosynthetic capacity in sorghum under water stress. *Journal of Experimental Botany*. ред. Tracy Lawson. 2024. Vol. 75, No 21. P. 6778–6795. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erae418>
100. Alam M. M., Hammer G. L., Oosterom E. J. van et al. A physiological framework to explain genetic and environmental regulation of tillering in sorghum. *New Phytologist*. 2014. Vol. 203, No 1. P. 155–167. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.12767>
101. Alderfasi A. A., Selim M. M., Alhammad B. A. Evaluation of Plant Densities and Various Irrigation Regimes of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under Low Water Supply. *Journal of Water Resource and Protection*. 2016. Vol. 8, No 1. P. 1–11. DOI:10.4236/jwarp.2016.81001.
102. Ávila R. G., Magalhães P. C., Vitorino L. C. et al. Chitosan Induces Sorghum Tolerance to Water Deficits by Positively Regulating Photosynthesis and the

- Production of Primary Metabolites, Osmoregulators, and Antioxidants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2023. Vol. 23, No 1. P. 1156–1172. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-022-01111-4>
103. Baklanova T. V., Gamayunova V. V., Sydiakina O. V. Modern trends of sorghum cultivation in Ukraine and the world. *Taurian Scientific Herald*. 2023. No 134. P. 9–17. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.2>
 104. Bean S. R., Wilson J. D., Moreau R. A. et al. Structure and Composition of the Sorghum Grain. *Sorghum*. John Wiley & Sons, Ltd, 2019. Vol. 58, No 9. P. 173–214. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr58.c9>
 105. Behera P. P., Saharia N., Borah N. et al. Sorghum Physiology and Adaptation to Abiotic Stresses. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2022. Vol. 12, No 10. P. 1005–1022. DOI: <https://doi.org/10.9734/ijecc/2022/v12i1030891>
 106. Berenji J., Dahlberg J. Perspectives of Sorghum in Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2004. Vol. 190, No 5. P. 332–338. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2004.00102.x>
 107. Bojko M. Increasing the yield and grain quality of grain sorghum hybrids in the Southern Steppe zone of Ukraine. *Visnyk agrarnoi nauky*. 2024. Vol. 102, No 8. P. 73–80. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202408-08>
 108. Boyko M. O. Sorghum as a food product: prospects and new opportunities. *Taurian Scientific Herald*. 2024. No 138. P. 15–21. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.138.2>
 109. Castro-Camba R., Sánchez C., Vidal N. et al. Plant Development and Crop Yield: The Role of Gibberellins. *Plants*. 2022. Vol. 11, No 19. P. 2650. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11192650>
 110. Cobb A. B., Wilson G. W. T., Goad C. L. et al. Assessing the influence of farm fertility amendments, field management, and sorghum genotypes on soil microbial communities and grain quality. *Applied Soil Ecology*. 2017. Vol. 119. P. 367–374. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.010>

111. Davydenko S. Grain yield of grain sorghum hybrids of different ripeness groups depending on the influence of seeding rate and row spacing in the Northern Steppe of Ukraine. «Agrobiology», 2022. Vol. 174, No 2. P. 27–36. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-174-2-27-36>
112. De Saeger J., Van Praet S., Vereecke D. et al. Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascophyllum nodosum* extracts on plants. *Journal of Applied Phycology*. 2020. Vol. 32, No 1. P. 573–597. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01903-9>
113. Dewi E. S., Abdulai I., Bracho-Mujica G. et al. Agronomic and Physiological Traits Response of Three Tropical Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Cultivars to Drought and Salinity. *Agronomy*. 2023. Vol. 13, No 11. P. 2788. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13112788>
114. Dolia M. M., Yushchenko L. P., Varchenko T. P. Peculiarities of use of modern biological preparations for protection of agricultural culture from pests in the Forest Steppe and Polissia of Ukraine. *Agricultural microbiology*. 2018. Vol 27. P. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.27.60-66>
115. Fedorchuk M., Lykhovyd P. et al. Mathematical model of grain sorghum yield depending on wetting conditions and variety in the South of Ukraine. Technical and technological aspects of development and testing of new machinery and technologies for agriculture of Ukraine. 2022. Vol. 2, No 31(45). P. 130–136. DOI: [http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2022-2-31\(45\)-12](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2022-2-31(45)-12)
116. Fedorova D., Lanska V. The quality of gluten-free sourdough bread with starter culture LV–1. *International scientific-practical journal Commodities and markets*. 2024. Vol. 51, No 3. P. 116–132. DOI: [https://doi.org/10.31617/2.2024\(51\)08](https://doi.org/10.31617/2.2024(51)08)
117. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
118. Gadzalo Ja., Luzan Ju. Ukraine's integration into the common agricultural market of the EU: opportunities and challenges. *Visnyk agrarnoi nauky*. 2024. Vol. 102, No 8. P. 5–18. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202408-01>

119. Garmash S., Dobridnev V. Relevance of the use of natural plant growth stimulators and biological agents plant protection in Ukraine. *European Science*. 2025. No sge36-02. P. 129–136. DOI: <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2025-36-02-021>
120. Gyrka A. D., Alieksieiev Ya. V. et al. Influence quantity and sowing method of grain sorghum on the formation of assimilation surface and grain productivity of plants. *The Scientific Journal Grain Crops*. 2021. Vol. 5, No 2. P. 302–309. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0189>
121. House L. R. Sorghum – Present Status and Future Potential. *Outlook on Agriculture*. 1987. Vol. 16, No 1. P. 21–27. DOI: <https://doi.org/10.1177/0030727087016001>
122. Hussein S. Q., Hussein A. K. Effect of Plant Densities on Some Growth Traits of Varieties of Sorghum (*Sorghum Bicolor* (L) Moench). *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*. 2021. Vol. 25, No 3. P. 4455–4463. URL: <http://annalsofrscb.ro/index.php/journal/article/view/1941>.
123. Ivanina V. V., Pashynska K. L. Formation of nutritional balance in grain sorghum crops under different fertilizer systems. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology*. 2022. Vol. 47, No 1. P. 65–70. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.9>
124. Ivanina V. V., Pashynska K. L., Kostashchuk M. V. Effect of fertilizers on the grain yield and quality of grain sorghum. *Advanced Agritechnologies*. 2019. No 7. P. 6–6. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.7.2019.204801>
125. Ivanina V., Pashynska K., Smirnykh V. Removal and balance of nutritional elements in the agrocenosis of sorghum for grain depending on fertilizer system. *Bulletin of Agricultural Science*. 2021. Vol. 99, No 12. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202112-03>
126. Jahanzad E., Jorat M., Moghadam H. et al. Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting quantity. *Agricultural Water Management*. 2013. Vol. 117. P. 62–69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.001>

127. Kliuchevych M., Vyshnivskiy P., Stoliar S. Control of brown leaf spot for environmentally safe protection of grain sorghum in Ukraine. *Feeds and Feed Production*. 2022. No 94. P. 37–47. DOI: <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202294-04>
128. Kovalenko M. O., Zhatova H. O. Influence of sowing rates on the growth and development of grain sorghum in North-Eastern part of Ukraine. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology*. 2023. Vol. 49, No 3. P. 25–31. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.3.4>
129. Kovtun O., Tryhuba I. Prospects for the use of the biological method in national plant protection systems. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agronomy*. 2024. No 28. P. 160–165. DOI: <https://doi.org/10.31734/agronomy2024.28.160>
130. Kumar R., Mishra J. S., Dwivedi S. K. et al. Nutrient uptake and content in sorghum cultivars (*Sorghum bicolor* L) under summer environment. *Indian Journal of Plant Physiology*. 2017. Vol. 22, No 3. P. 309–315. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40502-017-0306-z>
131. Kumari S., Sehrawat K. D., Phogat D. et al. *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis, a Pivotal Biostimulant toward Sustainable Agriculture: A Comprehensive Review. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, No 6. P. 1179. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13061179>
132. Kyienko Z. B., Dutova H. A., Rudenko O. A. et al. Study on the stability of the productivity index of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) varieties under Forest-Steppe conditions. *Plant varieties studying and protection*. 2024. Vol. 20, No 1. P. 45–50. DOI: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.1.2024.297222>
133. Lafarge T. A., Hammer G. L. Tillering in Grain Sorghum over a Wide Range of Population Densities: Modelling Dynamics of Tiller Fertility. *Annals of Botany*. 2002. Vol. 90, No 1. P. 99–110. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcf153>

134. Mahama G.Y., Prasad P.V.V., Mengel D.B., Tesso, T.T. Influence of Nitrogen Fertilizer on Growth and Yield of Grain Sorghum Hybrids and Inbred Lines. *Agronomy Journal*. 2014. No 106. P. 1623-1630. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0092>
135. Makino Y., Ueno O. Structural and physiological responses of the C4 grass *Sorghum bicolor* to nitrogen limitation. *Plant Production Science*. 2018. Vol. 21, No 1. P. 39–50. DOI: <https://doi.org/10.1080/1343943X.2018.1432290>
136. Maliarchuk M. P., Granovska L. M., Pysarenko P. V. et al. Productivity of the row crop rotation at different systems of basic tillage and fertilizer in the conditions of irrigation of South of Ukraine. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology*. 2022. Vol. 46, No 4. P. 33–41. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.5>
137. Maliarchuk V. Agrophysical properties and productivity of grain sorghum under different tillage methods and doses of nitrogen fertilizers. Technical and technological aspects of development and testing of new machinery and technologies for agriculture of Ukraine. 2023. Vol. 1, No 33(47). P. 132–139. DOI: [https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2023-2-33\(47\)-12](https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2023-2-33(47)-12)
138. Matvieieva N., Duplij V., Bohdanovych T. et al. The effect of alginite on the growth and bioactivity of lettuce plants in vitro. *Fiziologia rastenij i genetika*. 2023. Vol. 55, No 2. P. 163–176. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2023.02.163>
139. Maw M. J. W., Houx J. H., Fritsch F. B. Nitrogen fertilization of high biomass sorghum affects macro- and micronutrient accumulation and tissue concentrations. *Industrial Crops and Products*. 2020. Vol. 156. P. 112819. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112819>
140. McNeill S., Montross M. Harvesting, Drying, and Storing Grain Sorghum. *Agricultural Engineering Extension Publications*. 2003. URL: https://uknowledge.uky.edu/aen_reports/9
141. Minimassom P. N., Nofou O., Hamidou T. et al. Sorghum mutation breeding for tolerance to water deficit under climate change. *Journal of Plant Breeding*

- and Crop Science. 2020. Vol. 12, No 3. P. 192–199. DOI: <https://doi.org/10.5897/IPBCS2020.0886>
142. Mundia C. W., Secchi S., Akamani K. et al. A Regional Comparison of Factors Affecting Global Sorghum Production: The Case of North America, Asia and Africa's Sahel. Sustainability. 2019. Vol. 11, No 7. P. 2135. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11072135>
 143. Myers R. J. K. The root system of a grain sorghum crop. Field Crops Research. 1980. Vol. 3. P. 53–64. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(80\)90007-6](https://doi.org/10.1016/0378-4290(80)90007-6)
 144. Oliveira S., Costa K. A., Severiano E. et al. Performance of Grain Sorghum and Forage of the Genus Brachiaria in Integrated Agricultural Production Systems. Agronomy. 2020. Vol. 10, No 11. P. 1714. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10111714>
 145. Ostmeyer T. J., Bahuguna R. N., Kirkham M. B. et al. Enhancing Sorghum Yield Through Efficient Use of Nitrogen – Challenges and Opportunities. Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.845443>
 146. Pashynska K. L. Energy efficiency of grain sorghum cultivation under different fertilizer systems. Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet. 2021. No 27. P. 61–66. DOI: <https://doi.org/10.47414/np.27.2019.211139>
 147. Prajapati D. R., Pahuja S. K., Verma N. K. et al. Morphological Characterization of Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] Germplasm for DUS Traits. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2018. Vol. 7, No 2. P. 2058–2071. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.246>
 148. Pravdyva A., Fedoruk Y. V. Formation of structural indicators of grain sorghum yield depending on the method of sowing seeds and plant quantity in the right-bank forest-steppe of Ukraine. Technical and technological aspects of development and testing of new machinery and technologies for agriculture of

- Ukraine. 2021. No 28(42). DOI: [http://dx.doi.org/ 10.31473/2305-5987-2021-1-28\(42\)-18](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2021-1-28(42)-18)
149. Pravdyva L. A. Features of development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) depending on the seeding rate. *Taurian Scientific Herald*. 2023. No 129. P. 111–118. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.129.15>
150. Pravdyva L. Influence of elements of growing technology on productivity of sorghum and biofuel output. *Visnyk agrarnoi nauky*. 2021. Vol. 99, No 5. P. 23–29. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202105-03>
151. Pravdyva L., Prysiazhniuk O., Khakhula V. et al. Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) growth and development features under the influence of growth regulator. *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 26, No 9. P. 120–130. DOI: <https://doi.org/10.48077/scihor9.2023.120>
152. Price M. L., Stromberg A. M., Butler L. G. Tannin content as a function of grain maturity and drying conditions in several varieties of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *ACS Publications*. 1979. Vol. 27, No 6. P.1270-1274. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf60226a060>
153. Prysiazhniuk O. I. Features of identification of stages of growth of grain sorghum. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*. 2020. No 28. P. 102–112. DOI: <https://doi.org/10.47414/np.28.2020.211060>
154. Prysiazhniuk O., Storozhyk L., Humentyk M. et al. Optimal time of plant growth regulator application to Sorghum canopy according to BBCH and Kuperman crop growth scales. *Plant and Soil Science*. 2022. Vol. 4, No 13. P. 46–56. DOI: [https://doi.org/10.31548/agr.13\(4\).2022.46-56](https://doi.org/10.31548/agr.13(4).2022.46-56)
155. Rawlings J. O., Pantula S. G., Dickey D. A. *Applied regression analysis: a research tool*. 2nd ed. Springer, Berlin, 1998. 658 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/b98890>
156. Rivero R. M., Mittler R., Blumwald E. et al. Developing climate-resilient crops: improving plant tolerance to stress combination. *The Plant Journal*. 2022. Vol. 109, No 2. P. 373–389. DOI: <https://doi.org/10.1111/tpj.15483>

157. Rostami S., Akbari H., Adibzadeh A. et al. Effects of *Ascophyllum nodosum*-based Biostimulants on Improving Phytoextraction of Cadmium and Lead in Contaminated Soils. *Environmental Processes*. 2023. Vol. 10, No 2. P. 26. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40710-023-00643-w>
158. Sabagh A. E., Mbarki S., Hossain A. et al. Potential Role of Plant Growth Regulators in Administering Crucial Processes Against Abiotic Stresses. *Frontiers in Agronomy*. 2021. Vol. 3. P. 648694. DOI:10.3389/fagro.2021.648694.
159. Saballos A. Development and Utilization of Sorghum as a Bioenergy Crop. *Genetic Improvement of Bioenergy Crops*. Springer, New York, NY, 2008. P. 211–248. DOI: https://doi.org/10.1007/978-0-387-70805-8_8
160. Saudi A. H., Al-Rawi Adawiya. Sajid. Mustafa. Effect of Seed Priming Duration with Bio-Stimulator (Appetizer) on Germination Characteristics and Seedling Emergence of Sorghum. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. Vol. 1262, No 5. P. 052034. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1262/5/052034>
161. Serme I., Ouattara K., Ouattara D. et al. Sorghum Grain Yield Under Different Rates of Mineral and Organic Fertilizer Application in the South-Sudan Zone of Burkina Faso. *Improving the Profitability, Sustainability and Efficiency of Nutrients Through Site Specific Fertilizer Recommendations in West Africa Agro-Ecosystems*. Springer International Publishing, 2018. Vol. 2. P. 235–248. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-58792-9_14
162. Shi T.-Q., Peng ,Hui, Zeng ,Si-Yu et al. Microbial production of plant hormones: Opportunities and challenges. *Bioengineered*. 2016. Vol. 8, No 2. P. 124–128. DOI: <https://doi.org/10.1080/21655979.2016.1212138>
163. Shukla P. S., Mantin E. G., Adil M. et al. *Ascophyllum nodosum*-Based Biostimulants: Sustainable Applications in Agriculture for the Stimulation of Plant Growth, Stress Tolerance, and Disease Management. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00655>

164. Simão L. M., Peterson D., Roozeboom K. L. et al. Crop rotation and tillage impact yield performance of soybean, sorghum, and wheat. *Agronomy Journal*. 2022. Vol. 115, No 2. P. 658–673. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.21237>
165. Sindelar A. J., Schmer M. R., Jin V. L. et al. Crop rotation affects corn, grain sorghum, and soybean yields and nitrogen recovery. *Agronomy Journal*. 2016. Vol. 108, No 4. P. 1592–1602. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2016.01.0005>
166. Smith M., Heng L. K., Barlow K. M. Crop yield response to deficit irrigation implemented by surface drip and subsurface drip systems. *Agricultural Water Management*. No 134. P. 29–37.
167. Sokolovska-Sergiienko O. H., Kedruk A. S., Makharynska N. M. et al. Effects of complex microfertilizers-biostimulants on photosynthetic apparatus and productivity of winter wheat. *Fiziologia rastenij i genetika*. 2023. Vol. 55, No 4. P. 326–343. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2023.04.326>
168. Spaven N. V. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT). *PANS*. 1977. Vol. 23, No 3. P. 340–346. DOI: <https://doi.org/10.1080/09670877709412464>
169. State Institution Institute of Grain Crops NAAS, Aliksieiev Ya. V., Semenov S. S. et al. Productivity of grain sorghum at application of post-emergence herbicides. *The Scientific Journal Grain Crops*. 2021. Vol. 5, No 1. P. 59–64. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0159>
170. Stefanov M., Rashkov G., Borisova P. et al. Sensitivity of the Photosynthetic Apparatus in Maize and Sorghum under Different Drought Levels. *Plants*. 2023. Vol. 12, No 9. P. 1863. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12091863>
171. Stepanenko M. Influence of sowing methods on starch and protein content in the grain of corn hybrids. *Foothill and mountain agriculture and stockbreeding*. 2023. Vol. 74, No 2. P. 107–115. DOI:10.32636/01308521.2023-(74)-2-10.
172. Storozhyk L. I., Blyzniuk A. Yu., Kulyk G. A. Structural-morphological indicators of grain sorghum yield in the conditions of the Forest-Steppe zone of Ukraine. *Naukovì dopovidì Nacìonal'nogo unìversitetu bìoresursiv ì*

- prirodokoristuvannâ Ukraïni. 2018. Vol. 76, No 6. DOI: <https://doi.org/10.31548/dopovidi2018.06.011>
173. Storozhyk L. I., Prysiazhniuk O. I., Humentyk M. Ya. et al. Efficiency of using the identification scales for growth and development stages of sorghum plants. 2021. Vol. 21, No 2. P. 498–509. URL: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20220164133>
 174. Sukhina D. Formation of leaf surface area of sorghum (*Sorghum*) grain hybrids depending on plant quantity and application of growth regulator. *Agroecological journal*. 2025. No 2. P. 156–162. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2025.333841>
 175. Sukhina D. V., Novytska N. V. Productivity of *Sorghum bicolor* as affected by agronomical practices in the Northern Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*. 2024. No 32. P. 104–113. DOI: <https://doi.org/10.47414/np.32.2024.327514>
 176. Sukhina D., Novytska N. Influence of agronomic practices on the photosynthetic activity of grain sorghum hybrids in the Northern Steppe of Ukraine. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2025. Vol. 21, No 2. P. 120–133. DOI: <https://doi.org/10.31548/dopovidi/2.2025.120>
 177. Titarenko O. S., Karpuk L. M. Photosynthetic efficiency of sorghum (*Sorghum bicolor*) under the effect of elements of cultivation technology. *Advanced Agritechnologies*. 2022. Vol. 10, No 3. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.10.3.2022.287179>
 178. Trindade V. D. R., Viana R. da S., Sá M. E. de et al. Agronomic characteristics of sorghum submitted to the seaweed extract application and *Azospirillum brasilense* through leaf path. *Research, Society and Development*. 2020. Vol. 9, No 8. P. e680985172. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5172>
 179. Tsygankova V. Нові регулятори росту рослин сорго на основі синтетичних азагетероциклічних сполук, похідних піримідину. *Medicinal Herbs: from past experience to new technologies : Abstracts of XII International Scientific*

- and Practical Conference. 21-22 2024. P. 53-56. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14541301>
180. Umesh M. R., Angadi S., Begna S. et al. Planting Quantity and Geometry Effect on Canopy Development, Forage Yield and Nutritive Value of Sorghum and Annual Legumes Intercropping. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No 8. P. 4517. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14084517>
 181. Unger P. W. Tillage effects on dryland wheat and sorghum production in the Southern Great Plains. *Agronomy Journal*. 1994. Vol. 86, No 2. P. 310–314. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1994.00021962008600020019x>
 182. Voitovska V. I., Mostovyak S. M., Voyevoda L. I. et al. Biometric indicators of sorghum plants depending on the action of hormones and growth regulators. *Collected Works of Uman National University of Horticulture*. 2023. Vol. 1, No 103. P. 241–252. DOI:10.32782/2415-8240-2023-103-1-241-252.
 183. Wang C., Zhou L., Gao J. et al. Changes in Nutrient Accumulation and Transportation of Waxy Sorghum in Waxy Sorghum-Soybean Intercropping Systems Under Different Row Ratio Configurations. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.921860>
 184. Wang Y. H., Irving H. R. Developing a model of plant hormone interactions. *Plant Signaling & Behavior*. 2010. Vol. 6, No 4. P. 494–500. DOI: <https://doi.org/10.4161/psb.6.4.14558>
 185. Xiong Y., Zhang P., Warner R. D. et al. Sorghum Grain: From Genotype, Nutrition, and Phenolic Profile to Its Health Benefits and Food Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019. Vol. 18, No 6. P. 2025–2046. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12506>
 186. Yakhin O. I., Lubyantsev A. A., Yakhin I. A. et al. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 7. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
 187. Zamlynskyi V. The state and development trajectories of circular economy and food security in the development of a sustainable agri-food ecosystem for agro-

industrial enterprises. Food Industry Economics. 2025. Vol. 17, No 1. P. 41–47.

188. Zhang F., Zhu K., Wang Y. Q. et al. Changes in photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of sorghum under drought and waterlogging stress. *Photosynthetica*. 2019. Vol. 57, No 4. P. 1156–1164. DOI: 10.32615/ps.2019.136.
189. Zhatova H. O., Kovalenko M. O. Biological characteristics of sorghum crop. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology*. 2020. Vol. 40, No 2. P. 14–22. DOI: <https://doi.org/10.32782/agrobio.2020.2.2>

ДОДАТКИ

Додаток А. Акт впровадження наукової розробки у виробничих умовах

АКТ

Впровадження наукової розробки у виробничих умовах

1. Назва розробки, що впроваджується: елементи технології вирощування сорго зернового.
2. Назва господарства і його адреса, де проводилось впровадження: Товариство з обмеженою відповідальністю «Зоря», 53614, Україна, с.Гаврилівка, Синельниківський район, Дніпропетровська область.
3. Рік і обсяг впровадження: у 2024 році на площі 30 га.
4. Рекомендована технологія включала в себе такі елементи: висівання гібриду сорго зернового ЕС Фоен з шириною міжряддя 45 см з нормою висіву 270 кг для формування густоти рослин 200 тис.шт./га; а також двократне позакореневе застосування регулятора росту рослин «Аппетайзер» у фазу 4-5 листків та у фазу 7-8 листків з нормою витрати 0,5 л/га.
5. За результатами проведених виробничих випробувань вдалося знизити собівартість однієї тонни сорго зернового на 540 грн та за кращого рівня урожайності (на 0,87 т/га) річний економічний ефект становив 215,3 тис. грн з розрахунку на площу впровадження в 30 га.

Акт складено 10 березня 2025 року.



Додаток В. Середні багаторічні метеорологічні показники (1991-2020
рр.) по метеостанції Синельникове



ДСНС України
УКРАЇНСЬКИЙ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР
(УкрГМЦ)

вул. Золотоворітська, 6 В, м. Київ, 01601, тел. (044) 239-93-87, факс. (044) 279-10-80
www.meteo.gov.ua ЄДРПОУ 25836018 office@meteo.gov.ua

№ _____

На № _____

від _____

Громадянин України

Про надання гідрометеорологічної
інформації

На ваш запит від 18 червня 2024 року надаємо інформацію про середні багаторічні метеорологічні показники (середню місячну температуру повітря та середню місячну кількість опадів) за період 1991-2020 роки та суми ефективних температур повітря вище 10 °С з 2022 по 2024 роки на території Синельниківського району Дніпропетровської області. Дані наведено за спостереженнями метеостанції Синельникове, яка є репрезентативною для території даного району.

Середні багаторічні метеорологічні показники (1991-2020 рр.) по
метеостанції Синельникове

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Середня місячна тем-ра повітря, °С	- 3,7	- 2,9	2,4	10,0	16,3	20,2	22,3	21,7	16,0	9,1	2,5	- 1,9	9,3
Середня місячна кількість опадів, мм	36	32	39	41	51	69	48	41	39	38	40	41	515



СЕД АСКОД
УкрГМЦ ДСНС України
№ 99 001-1743/99 12 від 28.06.2024
Підписувач Кульбіда Микола Іванович
Сертифікат 368DC35EFCB2DC104000000AA450000ED390400
Дійсний з 30.05.2023 0:00:00 по 29.05.2025 23:59:59



ПП «АРКАС»

м. Запоріжжя, вул. Сковороди, 19;
Тел. лабораторії:
+380670111238;
+380957990062 (Viber)
e-mail: arkaspp@gmail.com



РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ҐРУНТУ

Замовник: ТОВ «Зоря»
Дата приймання зразку: 01.05.2022
Ресстраційний №: А-1193
Назва зразку: ґрунт для вирощування сорго
Вид аналізу: агрохімічний аналіз ґрунту
Культура: сорго (*Sorghum*)
Планова врожайність: сорго – 5 т/га
Примітка: Зразок відібраний замовником.

За результатами агрохімічного аналізу ґрунту згідно чинних на території України стандартів та методів було отримано такі агрохімічні показники ґрунту (табл. 1-2).

Таблиця 1. Результати агрохімічного аналізу ґрунту (А-1193)*

N _{min} , мг/кг	P ¹ , мг/кг	K ¹ , мг/кг	Ca, мг- екв/100г	Mg, мг- екв/100г	S, мг/кг	Гумус %	pH _{sol}	pH ₁₂ о	σ, μS/cm
31,2	68,2	243,8	20,96	2,32	9,6	4,48	6,63	7,64	128,3
Дуже низький	Низький	Середній	Підвищений	Високий	Дуже високий				

¹ – за Чириковим;

Таблиця 2. Результати аналізу обмінних катіонів (А-1193) *

Сума обмінних катіонів, мг-екв/100г	Вміст обмінних катіонів, % від с					Характеристика
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺	
31,20	68,5	7,4	0,6	2,0	<0,01	Порушене співвідношення кальцію та магнію

* – результати аналізів стосуються лише тих зразків, що надійшли в лабораторію.

Аналізи виконали
спеціалісти:

(підписано)
(підписано)

Світлана МОЙСЕЄНКО
Тетяна РИКОВА

Директор ПП «АРКАС»:

(підписано)

Валерій СЕМІКОВ

Додаток С (продовження). Агрохімічний аналіз ґрунту дослідної ділянки
у 2023 р.



ПП «АРКАС»

м. Запоріжжя, вул. Сковороди, 19;
Тел. лабораторії:
+380670111238;
+380957990062 (Viber)
e-mail: arkaspp@gmail.com



РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ҐРУНТУ

Замовник: ТОВ «Зоря»
Дата приймання зразку: 22.04.2023
Регістраційний №: А-2139
Назва зразку: ґрунт для вирощування сорго
Вид аналізу: агрохімічний аналіз ґрунту
Культура: сорго (*Sorghum*)
Планова врожайність: сорго – 5 т/га
Примітка: Зразок відібраний замовником.

За результатами агрохімічного аналізу ґрунту згідно чинних на території України стандартів та методів було отримано такі агрохімічні показники ґрунту (табл. 1-2).

Таблиця 1. Результати агрохімічного аналізу ґрунту (А-2139)*

N _{min} , мг/кг	P ¹ , мг/кг	K ¹ , мг/кг	Ca, мг- екв/100г	Mg, мг- екв/100г	S, мг/кг	Гумус %	pH _{sol}	pH ₂ o	σ, μS/cm
30,2	71,8	238,8	21,45	2,40	10,5	4,55	6,38	7,40	119,0
Дуже низький	Низький	Середній	Підвищений	Високий	Дуже високий				

¹ – за Чириковим;

Таблиця 2. Результати аналізу обмінних катіонів (А-2139)*

Сума обмінних катіонів, мг-екв/100г	Вміст обмінних катіонів, % від с					Характеристика
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺	
28,76	72,4	8,0	0,7	2,4	<0,01	Порушене співвідношення кальцію та магнію

* – результати аналізів стосуються лише тих зразків, що надійшли в лабораторію.

Аналізи виконали
спеціалісти:

(підписано)
(підписано)

Світлана МОЙСЕЄНКО
Тетяна РИКОВА

Директор ПП «АРКАС»:

(підписано)

Валерій СЕМІКОВ

Додаток С (продовження). Агрохімічний аналіз ґрунту дослідної ділянки
у 2024 р.



ПП «АРКАС»

м. Запоріжжя, вул. Сковороди, 19;
Тел. лабораторії:
+380670111238;
+380957990062 (Viber)
e-mail: arkaspp@gmail.com



РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ҐРУНТУ

Замовник: ТОВ «Зоря»

Дата приймання зразку: 25.04.2024

Регістраційний №: А-3997

Назва зразку: ґрунт для вирощування сорго

Вид аналізу: агрохімічний аналіз ґрунту, розрахунок норм добрив під культуру

Культура: сорго (*Sorghum*)

Планова врожайність: сорго – 5 т/га

Примітка: Зразок відібраний замовником.

За результатами агрохімічного аналізу ґрунту згідно чинних на території України стандартів та методів було отримано такі агрохімічні показники ґрунту (табл. 1-2).

Таблиця 1. Результати агрохімічного аналізу ґрунту (А-3997)*

N _{min} , мг/кг	P ¹ , мг/кг	K ¹ , мг/кг	Ca, мг- екв/100г	Mg, мг- екв/100г	S, мг/кг	Гумус %	pH _{sol}	pH ₂ o	σ, μS/cm
28,0	66,2	242,4	20,81	2,23	9,3	4,50	6,46	7,49	124,4
Дуже низький	Низький	Середній	Підвищений	Високий	Дуже високий				

¹ – за Чириковим;

Таблиця 2. Результати аналізу обмінних катіонів (А-3997)*

Сума обмінних катіонів, мг-екв/100г	Вміст обмінних катіонів, % від с					Характеристика
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺	
29,16	71,4	7,7	0,8	2,1	<0,01	Порушене співвідношення кальцію та магнію

* – результати аналізів стосуються лише тих зразків, що надійшли в лабораторію.

Аналізи виконали
спеціалісти:

(підписано)
(підписано)

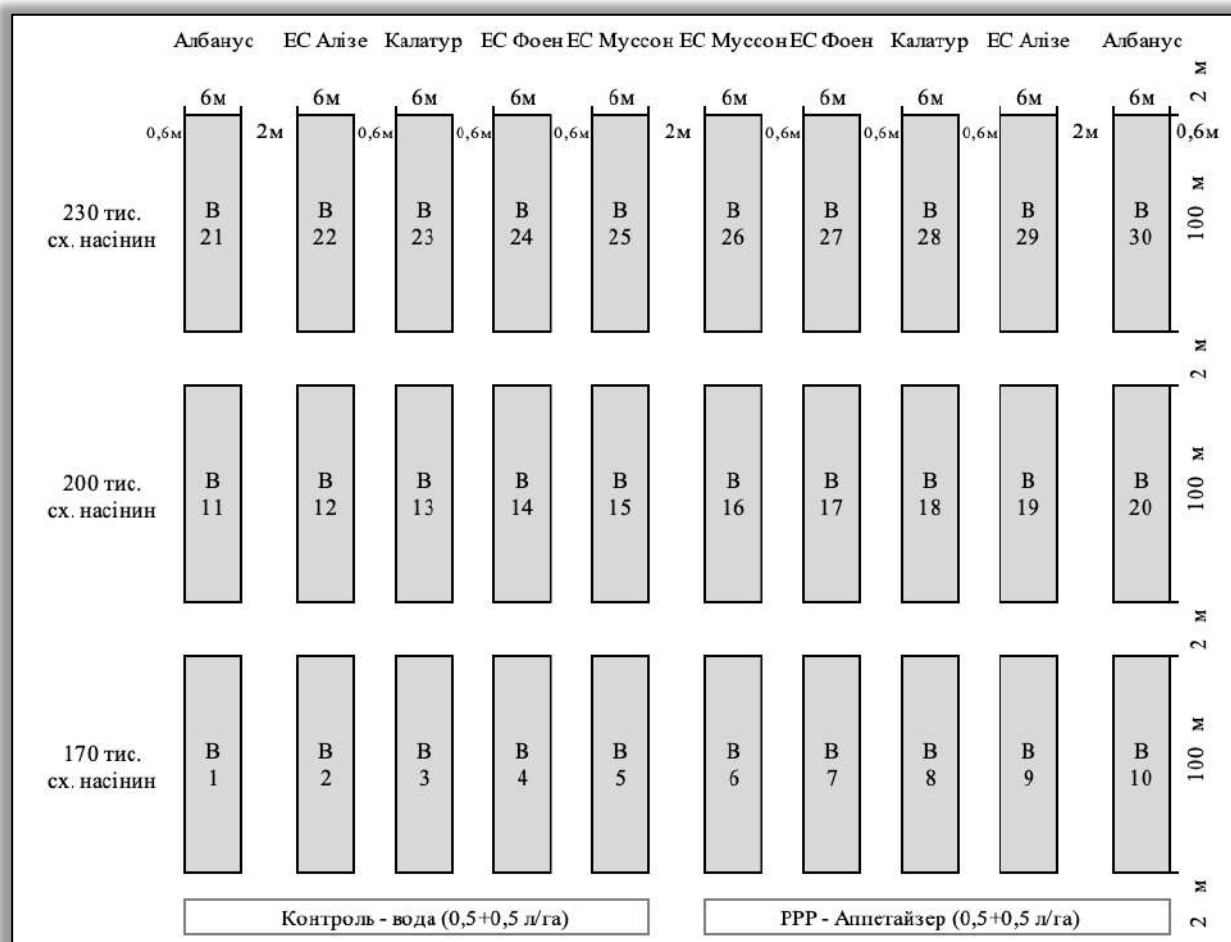
Світлана МОЙСЕЄНКО
Тетяна РИКОВА

Директор ПП «АРКАС»:

(підписано)

Валерій СЕМІКОВ

Додаток D. Схема розміщення варіантів на дослідній ділянці однієї
повторності (70,8*308 м)



Додаток Е. Терміни настання фенологічних фаз у рослин гібридів сорго зернового в залежності від густоти стояння рослин на контрольних варіантах (вода – 0,5+0,5 л/га) у 2022 році, строк посіву 26.05.2022

Гібрид (Фактор А)	Дати настання фенологічних фаз розвитку рослин сорго зернового							
	Сходи	3-5 листків	7-8 листків	10 листків	ВВ*	Цвітіння	МВС*	ПС*
Густота стояння рослин – 170 тис.шт./га (Фактор В)								
Калатур	03.06	09.06	24.06	08.07	25.07	05.08	18.08	16.09
ЕС Алізе	02.06	08.06	25.06	11.07	30.07	10.08	25.08	26.09
ЕС Фоен	03.06	08.06	23.06	09.07	27.07	08.08	22.08	19.09
Албанус	02.06	07.06	22.06	06.07	22.07	01.08	14.08	04.09
ЕС Муссон	02.06	08.06	21.06	05.07	21.07	01.08	12.08	01.09
Густота стояння рослин – 200 тис.шт./га (Фактор В)								
Калатур	03.06	09.06	23.06	07.07	24.07	04.08	17.08	15.09
ЕС Алізе	02.06	08.06	24.06	10.07	29.07	09.08	24.08	25.09
ЕС Фоен	03.06	08.06	22.06	08.07	26.07	07.08	21.08	18.09
Албанус	02.06	07.06	21.06	05.07	21.07	31.07	13.08	03.09
ЕС Муссон	02.06	08.06	20.06	04.07	20.07	31.07	11.08	31.08
Густота стояння рослин – 230 тис.шт./га (Фактор В)								
Калатур	03.06	09.06	21.06	05.07	22.07	02.08	15.08	13.09
ЕС Алізе	02.06	08.06	22.06	08.07	27.07	07.08	22.08	23.09
ЕС Фоен	03.06	08.06	20.06	06.07	24.07	05.08	19.08	16.09
Албанус	02.06	07.06	19.06	03.07	19.07	29.07	11.08	01.09
ЕС Муссон	02.06	08.06	18.06	02.07	18.07	29.07	09.08	29.08

де ВВ - викидання волоті;

МВС - молочно-воскова стиглість;

ПС - повна стиглість;

Додаток Е (продовження). Терміни настання фенологічних фаз у рослин гібридів сорго зернового в залежності від густоти стояння рослин на варіантах застосування

РРР (0,5+0,5 л/га) у 2022 році, строк посіву 26.05.2022

Гібрид (Фактор А)	Дати настання фенологічних фаз розвитку рослин сорго зернового							
	Сходи	3-5 листків	7-8 листків	10 листків	ВВ*	Цвітіння	МВС*	ПС*
Густота стояння рослин – 170 тис.шт./га (Фактор В)								
Калатур	03.06	09.06	25.06	09.07	27.07	07.08	20.08	18.09
ЕС Алізе	02.06	08.06	26.06	10.07	01.08	12.08	27.08	28.09
ЕС Фоен	03.06	08.06	24.06	08.07	29.07	10.08	24.08	21.09
Албанус	02.06	07.06	23.06	07.07	24.07	03.08	16.08	06.09
ЕС Муссон	02.06	08.06	22.06	06.07	23.07	03.08	14.08	03.09
Густота стояння рослин – 200 тис.шт./га (Фактор В)								
Калатур	03.06	09.06	25.06	09.07	26.07	06.08	19.08	17.09
ЕС Алізе	02.06	08.06	26.06	12.07	31.07	11.08	26.08	27.09
ЕС Фоен	03.06	08.06	24.06	10.07	28.07	09.08	23.08	20.09
Албанус	02.06	07.06	23.06	07.07	23.07	02.08	15.08	05.09
ЕС Муссон	02.06	08.06	22.06	06.07	22.07	02.08	13.08	02.09
Густота стояння рослин – 230 тис.шт./га (Фактор В)								
Калатур	03.06	09.06	22.06	06.07	23.07	03.08	16.08	14.09
ЕС Алізе	02.06	08.06	23.06	09.07	28.07	08.08	23.08	24.09
ЕС Фоен	03.06	08.06	21.06	07.07	25.07	06.08	20.08	17.09
Албанус	02.06	07.06	20.06	04.07	20.07	30.07	12.08	02.09
ЕС Муссон	02.06	08.06	19.06	03.07	19.07	30.07	10.08	30.08

де ВВ - викидання волоті;

МВС - молочно-воскова стиглість;

ПС - повна стиглість;

Додаток Е (продовження). Терміни настання фенологічних фаз у рослин
гібридів сорго зернового в залежності від густоти стояння рослин на
контрольних варіантах

(вода – 0,5+0,5 л/га) у 2023 році, строк посіву 24.05.2023

Гібрид (Фактор А)	Дати настання фенологічних фаз розвитку рослин сорго зернового							
	Сходи	3-5 листків	7-8 листків	10 листків	ВВ*	Цвітіння	МВС*	ПС*
Густота стояння рослин – 170 тис.шт./га (Фактор В)								
Калатур	07.06	18.06	04.07	19.07	30.07	10.08	28.08	21.09
ЕС Алізе	05.06	16.06	02.07	17.07	29.07	09.08	30.08	27.09
ЕС Фоен	05.06	16.06	02.07	17.07	29.07	09.08	27.08	24.09
Албанус	05.06	15.06	29.06	12.07	21.07	31.07	22.08	14.09
ЕС Муссон	06.06	16.06	30.06	13.07	20.07	30.07	21.08	13.09
Густота стояння рослин – 200 тис.шт./га (Фактор В)								
Калатур	07.06	18.06	04.07	19.07	30.07	10.08	28.08	20.09
ЕС Алізе	05.06	16.06	02.07	17.07	29.07	09.08	30.08	27.09
ЕС Фоен	05.06	16.06	02.07	17.07	29.07	09.08	27.08	22.09
Албанус	05.06	15.06	29.06	12.07	21.07	31.07	22.08	12.09
ЕС Муссон	06.06	16.06	30.06	13.07	20.07	30.07	21.08	11.09
Густота стояння рослин – 230 тис.шт./га (Фактор В)								
Калатур	07.06	18.06	03.07	18.07	29.07	09.08	27.08	19.09
ЕС Алізе	05.06	16.06	01.07	16.07	28.07	08.08	29.08	26.09
ЕС Фоен	05.06	16.06	01.07	16.07	28.07	08.08	26.08	21.09
Албанус	05.06	15.06	28.06	11.07	20.07	30.07	21.08	11.09
ЕС Муссон	06.06	16.06	29.06	12.07	19.07	29.07	20.08	10.09

де ВВ - викидання волоті;

МВС - молочно-воскова стиглість;

ПС - повна стиглість;

Додаток Е (продовження). Терміни настання фенологічних фаз у рослин
гібридів сорго зернового в залежності від густоти стояння рослин на
варіантах застосування

РРР (0,5+0,5 л/га) у 2023 році, строк посіву 24.05.2023

Гібрид (Фактор А)	Дати настання фенологічних фаз розвитку рослин сорго зернового						
	Сходи	3-5 листків	7-8 листків	10 листків	ВВ*	Цвітіння	МВС*
Густота стояння рослин – 170 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	07.06	18.06	06.07	21.07	01.08	12.08	30.08
ЕС Алізе	05.06	16.06	04.07	19.07	31.07	11.08	01.09
ЕС Фоен	05.06	16.06	04.07	19.07	31.07	11.08	29.08
Албанус	05.06	15.06	01.07	14.07	23.07	02.08	24.08
ЕС Муссон	06.06	16.06	02.07	15.07	22.07	01.08	23.08
Густота стояння рослин – 200 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	07.06	18.06	05.07	20.07	31.07	11.08	29.08
ЕС Алізе	05.06	16.06	03.07	18.07	30.07	10.08	31.08
ЕС Фоен	05.06	16.06	03.07	18.07	30.07	10.08	28.08
Албанус	05.06	15.06	30.06	13.07	22.07	01.08	23.08
ЕС Муссон	06.06	16.06	01.07	14.07	21.07	31.07	22.08
Густота стояння рослин – 230 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	07.06	18.06	06.07	21.07	01.08	12.08	30.08
ЕС Алізе	05.06	16.06	04.07	19.07	31.07	11.08	01.09
ЕС Фоен	05.06	16.06	04.07	19.07	31.07	11.08	29.08
Албанус	05.06	15.06	01.07	14.07	23.07	02.08	24.08
ЕС Муссон	06.06	16.06	02.07	15.07	22.07	01.08	23.08

де ВВ - викидання волоті;

МВС - молочно-воскова стиглість;

ПС - повна стиглість;

Додаток Е (продовження). Терміни настання фенологічних фаз у рослин
гібридів сорго зернового в залежності від густоти стояння рослин на
контрольних варіантах

(вода – 0,5+0,5 л/га) у 2024 році, строк посіву 29.05.2024

Гібрид (Фактор А)	Дати настання фенологічних фаз розвитку рослин сорго зернового							
	Сходи	3-5 листків	7-8 листків	10 листків	ВВ*	Цвітіння	МВС*	ПС*
с								
Калатур	17.06	28.06	15.07	02.08	13.08	22.08	04.09	05.10
ЕС Алізе	15.06	26.06	14.07	03.08	13.08	23.08	04.09	10.10
ЕС Фоен	15.06	25.06	13.07	01.08	12.08	21.08	03.09	04.10
Албанус	15.06	26.06	15.07	03.08	13.08	21.08	05.09	26.09
ЕС Муссон	16.06	27.06	16.07	04.08	12.08	21.08	03.09	02.10
Густота стояння рослин – 200 тис.шт./га (Фактор В)								
Калатур	17.06	28.06	14.07	02.08	13.08	22.08	03.09	03.10
ЕС Алізе	15.06	26.06	13.07	03.08	13.08	22.08	03.09	08.10
ЕС Фоен	15.06	25.06	13.07	01.08	14.08	20.08	06.09	03.10
Албанус	15.06	26.06	14.07	03.08	13.08	21.08	03.09	23.09
ЕС Муссон	16.06	27.06	15.07	04.08	12.08	19.08	02.09	01.10
Густота стояння рослин – 230 тис.шт./га (Фактор В)								
Калатур	17.06	28.06	12.07	31.07	11.08	20.08	01.09	01.10
ЕС Алізе	15.06	26.06	11.07	01.08	11.08	20.08	01.09	06.10
ЕС Фоен	15.06	25.06	11.07	30.07	12.08	18.08	04.09	01.10
Албанус	15.06	26.06	12.07	01.08	11.08	19.08	01.09	21.09
ЕС Муссон	16.06	27.06	13.07	02.08	10.08	17.08	31.08	29.09

де ВВ - викидання волоті;

МВС - молочно-воскова стиглість;

ПС - повна стиглість;

Додаток Е (продовження). Терміни настання фенологічних фаз у рослин
гібридів сорго зернового в залежності від густоти стояння рослин на
варіантах застосування

РРР (0,5+0,5 л/га) у 2024 році, строк посіву 29.05.2024

Гібрид (Фактор А)	Дати настання фенологічних фаз розвитку рослин сорго зернового						
	Сходи	3-5 листків	7-8 листків	10 листків	ВВ*	Цвітіння	МВС*
							ПС*
Густота стояння рослин – 170 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	17.06	28.06	14.07	01.08	11.08	20.08	02.09
ЕС Алізе	15.06	26.06	12.07	02.08	11.08	20.08	02.09
ЕС Фоен	15.06	25.06	12.07	31.07	10.08	19.08	01.09
Албанус	15.06	26.06	13.07	02.08	11.08	20.08	03.09
ЕС Муссон	16.06	27.06	14.07	02.08	10.08	19.08	01.09
Густота стояння рослин – 200 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	17.06	28.06	15.07	03.08	14.08	23.08	04.09
ЕС Алізе	15.06	26.06	14.07	04.08	14.08	23.08	03.09
ЕС Фоен	15.06	25.06	13.07	02.08	15.08	21.08	06.09
Албанус	15.06	26.06	15.07	04.08	13.08	22.08	03.09
ЕС Муссон	16.06	27.06	16.07	05.08	14.08	20.08	02.09
Густота стояння рослин – 230 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	17.06	28.06	13.07	01.08	12.08	21.08	02.09
ЕС Алізе	15.06	26.06	12.07	02.08	12.08	21.08	02.09
ЕС Фоен	15.06	25.06	12.07	31.07	13.08	19.08	05.09
Албанус	15.06	26.06	13.07	02.08	12.08	20.08	02.09
ЕС Муссон	16.06	27.06	14.07	03.08	11.08	18.08	01.09

де ВВ - викидання волоті;

МВС - молочно-воскова стиглість;

ПС - повна стиглість;

Додаток F. Тривалість міжфазних періодів гібридів сорго зернового
залежно від густоти стояння рослин на контрольних варіантах
(вода – 0,5+0,5 л/га) у 2022 році, строк посіву 26.05.2022

Гібрид (Фактор А)	Тривалість міжфазних періодів гібридів сорго зернового, діб						
	Сходи	3-5 листків	7-8 листків	10 листків	ВВ*	Цвітіння	МВС*
							ПС*
Густота стояння рослин – 170 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	8	6	15	14	17	11	13
ЕС Алізе	7	6	17	16	19	11	15
ЕС Фоен	8	5	15	16	18	12	14
Албанус	7	5	15	14	16	10	13
ЕС Муссон	7	6	13	14	16	11	11
Густота стояння рослин – 200 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	8	6	14	14	17	11	13
ЕС Алізе	7	6	16	16	19	11	15
ЕС Фоен	8	5	14	16	18	12	14
Албанус	7	5	14	14	16	10	13
ЕС Муссон	7	6	12	14	16	11	11
Густота стояння рослин – 230 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	8	6	12	14	17	11	13
ЕС Алізе	7	6	14	16	19	11	15
ЕС Фоен	8	5	12	16	18	12	14
Албанус	7	5	12	14	16	10	13
ЕС Муссон	7	6	11	14	16	11	11

де ВВ - викидання волоті;

МВС - молочно-воскова стиглість;

ПС - повна стиглість;

Додаток F (продовження). Тривалість міжфазних періодів гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин на варіантах застосування
 РРР (0,5+0,5 л/га) у 2022 році, строк посіву 26.05.2022

Гібрид (Фактор А)	Тривалість міжфазних періодів гібридів сорго зернового, діб						
	Сходи	3-5 листків	7-8 листків	10 листків	ВВ*	Цвітіння	МВС*
Густота стояння рослин – 170 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	8	6	16	14	18	11	13
ЕС Алізе	7	6	18	14	22	11	15
ЕС Фоен	8	5	16	14	21	12	14
Албанус	7	5	16	14	17	10	13
ЕС Муссон	7	6	14	14	17	11	11
Густота стояння рослин – 200 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	8	6	16	14	17	11	13
ЕС Алізе	7	6	18	16	19	11	15
ЕС Фоен	8	5	16	16	18	12	14
Албанус	7	5	16	14	16	10	13
ЕС Муссон	7	6	14	14	16	11	11
Густота стояння рослин – 230 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	8	6	13	14	17	11	13
ЕС Алізе	7	6	15	16	19	11	15
ЕС Фоен	8	5	13	16	18	12	14
Албанус	7	5	13	14	16	10	13
ЕС Муссон	7	6	11	14	16	11	11

де ВВ - викидання волоті;

МВС - молочно-воскова стиглість;

ПС - повна стиглість;

Додаток F (продовження). Тривалість міжфазних періодів гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин на контрольних варіантах (вода – 0,5+0,5 л/га) у 2023 році, строк посіву 24.05.2023

Гібрид (Фактор А)	Тривалість міжфазних періодів гібридів сорго зернового, діб						
	Сходи	3-5 листків	7-8 листків	10 листків	ВВ*	Цвітіння	МВС*
Густота стояння рослин – 170 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	14	11	16	15	11	11	18
ЕС Алізе	12	11	16	15	12	11	21
ЕС Фоен	12	11	16	15	12	11	18
Албанус	12	10	14	13	9	10	22
ЕС Муссон	13	10	14	13	7	10	22
Густота стояння рослин – 200 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	14	11	16	15	11	11	18
ЕС Алізе	12	11	16	15	12	11	21
ЕС Фоен	12	11	16	15	12	11	18
Албанус	12	10	14	13	9	10	22
ЕС Муссон	13	10	14	13	7	10	22
Густота стояння рослин – 230 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	14	11	15	15	11	11	18
ЕС Алізе	12	11	15	15	12	11	21
ЕС Фоен	12	11	15	15	12	11	18
Албанус	12	10	13	13	9	10	22
ЕС Муссон	13	10	13	13	7	10	22
Густота стояння рослин – 230 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	14	11	15	15	11	11	18
ЕС Алізе	12	11	15	15	12	11	21
ЕС Фоен	12	11	15	15	12	11	18
Албанус	12	10	13	13	9	10	22
ЕС Муссон	13	10	13	13	7	10	22

де ВВ - викидання волоті;

МВС - молочно-воскова стиглість;

ПС - повна стиглість;

Додаток F (продовження). Тривалість міжфазних періодів гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин на контрольних варіантах (вода – 0,5+0,5 л/га) у 2024 році, строк посіву 29.05.2024

Гібрид (Фактор А)	Тривалість міжфазних періодів гібридів сорго зернового, діб						
	Сходи	3-5 листків	7-8 листків	10 листків	ВВ*	Цвітіння	МВС*
Густота стояння рослин – 170 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	19	11	17	18	11	9	13
ЕС Алізе	17	11	18	20	10	10	12
ЕС Фоен	17	10	18	19	11	9	13
Албанус	17	11	19	19	10	8	15
ЕС Муссон	18	11	19	19	8	9	13
Густота стояння рослин – 200 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	19	11	16	19	11	9	12
ЕС Алізе	17	11	17	21	10	9	12
ЕС Фоен	17	10	18	19	13	6	17
Албанус	17	11	18	20	10	8	13
ЕС Муссон	18	11	18	20	8	7	14
Густота стояння рослин – 230 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	19	11	14	19	11	9	12
ЕС Алізе	17	11	15	21	10	9	12
ЕС Фоен	17	10	16	19	13	6	17
Албанус	17	11	16	20	10	8	13
ЕС Муссон	18	11	16	20	8	7	14

де ВВ - викидання волоті;

МВС - молочно-воскова стиглість;

ПС - повна стиглість;

Додаток F (продовження). Тривалість міжфазних періодів гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин на варіантах застосування

РРР (0,5+0,5 л/га) у 2024 році, строк посіву 29.05.2024

Гібрид (Фактор А)	Тривалість міжфазних періодів гібридів сорго зернового, діб						
	Сходи	3-5 листків	7-8 листків	10 листків	ВВ*	Цвітіння	МВС*
Густота стояння рослин – 170 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	19	11	16	18	10	9	13
ЕС Алізе	17	11	16	21	9	9	13
ЕС Фоен	17	10	17	19	10	9	13
Албанус	17	11	17	20	9	9	14
ЕС Муссон	18	11	17	19	8	9	13
Густота стояння рослин – 200 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	19	11	17	19	11	9	12
ЕС Алізе	17	11	18	21	10	9	11
ЕС Фоен	17	10	18	20	13	6	16
Албанус	17	11	19	20	9	9	12
ЕС Муссон	18	11	19	20	9	6	13
Густота стояння рослин – 230 тис.шт./га (Фактор В)							
Калатур	19	11	15	19	11	9	12
ЕС Алізе	17	11	16	21	10	9	12
ЕС Фоен	17	10	17	19	13	6	17
Албанус	17	11	17	20	10	8	13
ЕС Муссон	18	11	17	20	8	7	14

де ВВ - викидання волоті;

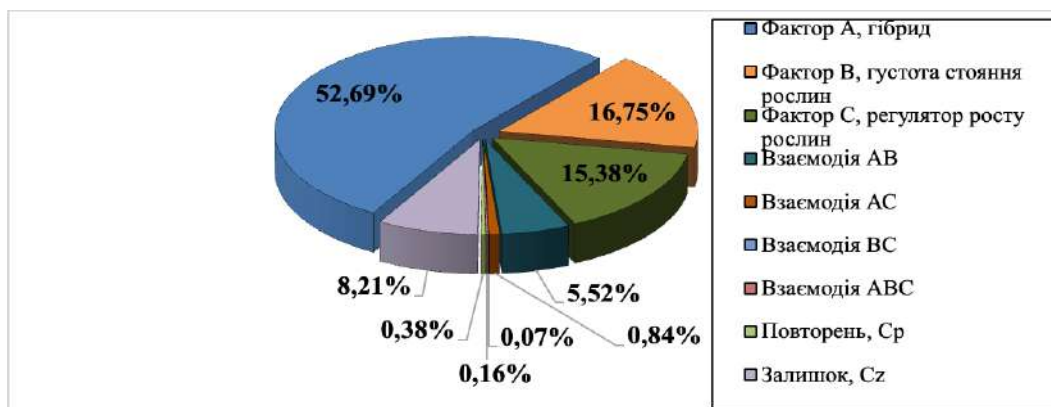
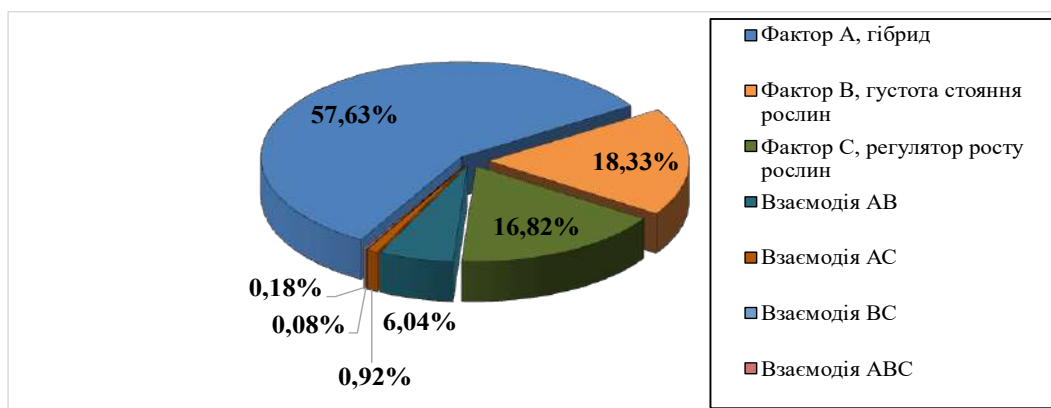
МВС - молочно-воскова стиглість;

ПС - повна стиглість;

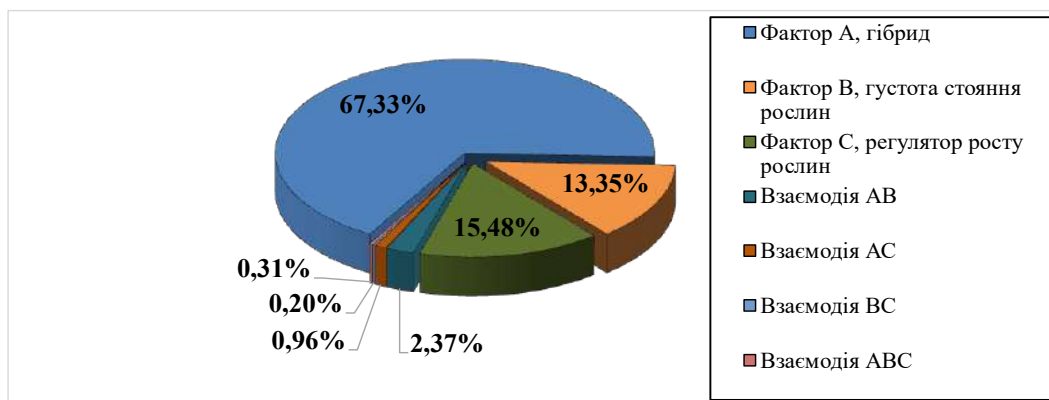
Додаток Г. Висота рослин гібридів *сорго* зернового в залежності від густоти стояння рослин та регулятору росту рослин за роки проведення досліджень, см:

а) факторна сума; б) загальна сума

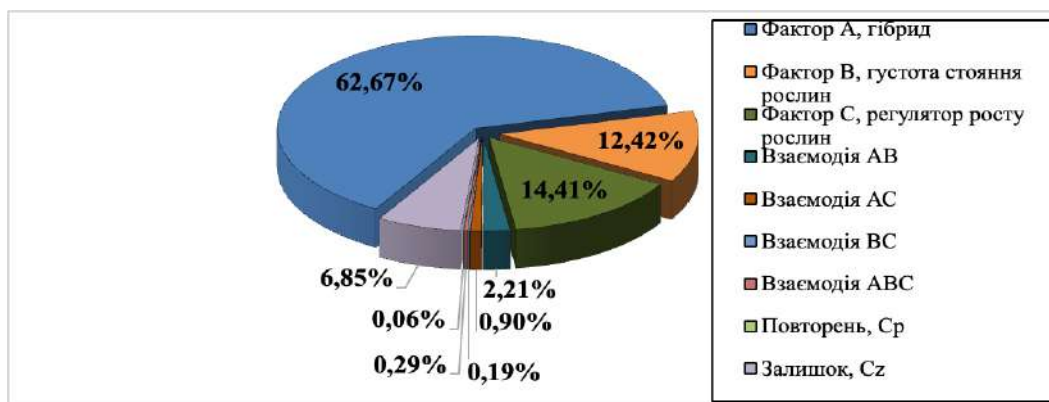
Гібрид (Фактор А)	Густота стояння рослин, тис.шт./га (Фактор В)								
	170 (К)			200			230		
	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.
Контроль (вода) – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)									
Албанус	110	111	92	107	109	90	104	107	88
ЕС Муссон	108	110	86	105	106	80	98	102	78
Калатур	108	115	88	107	114	85	106	111	81
ЕС Фоен	117	118	95	113	115	92	113	113	89
ЕС Алізе	113	119	102	110	117	98	108	116	95
Регулятор росту рослин – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)									
Албанус	115	115	98	111	112	94	108	110	91
ЕС Муссон	112	114	93	109	111	88	103	108	83
Калатур	111	118	95	110	118	90	109	115	87
ЕС Фоен	121	121	103	118	119	96	118	117	92
ЕС Алізе	116	120	104	113	120	102	111	118	98



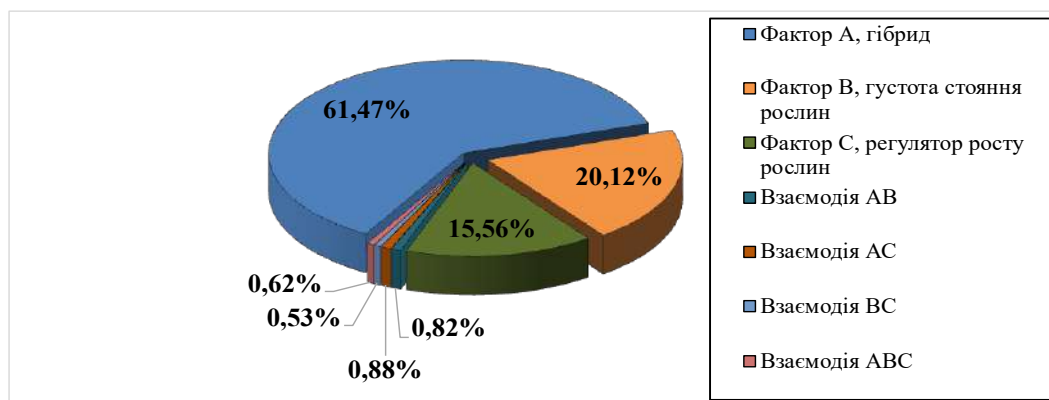
Додаток F (продовження)



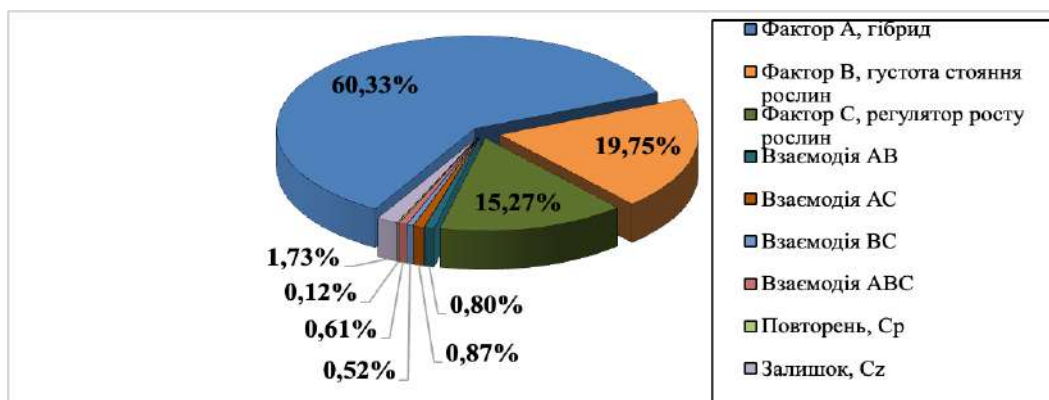
а) 2023 рік



б) 2023 рік



а) 2024 рік

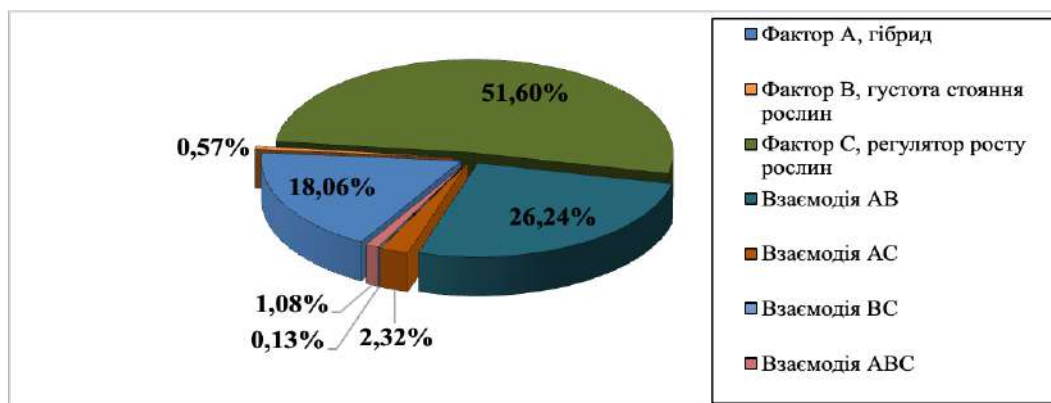


б) 2024 рік

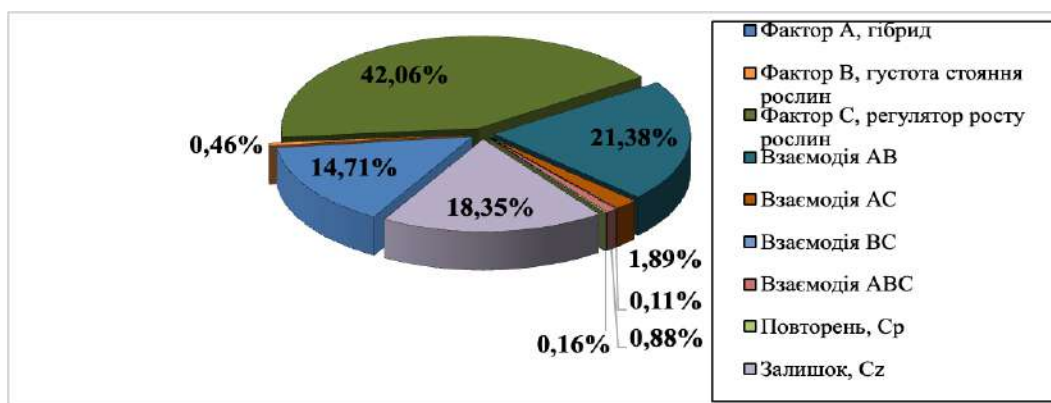
Додаток Н. Довжина волоті гібридів сорго зернового в залежності від густоти стояння рослин та регулятору росту рослин за роки проведення досліджень, см:

а) факторна сума; б) загальна сума

Гібрид (Фактор А)	Густота стояння рослин, тис. шт./га (Фактор В)								
	170 (К)			200			230		
	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.
Контроль (вода) – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)									
Албанус	26	27	25	24	26	23	25	24	22
ЕС Муссон	24	25	21	22	24	21	22	23	20
Калатур	23	25	20	22	23	19	24	22	19
ЕС Фоен	25	23	22	26	24	21	23	24	21
ЕС Алізе	23	21	22	26	24	20	26	23	19
Регулятор росту рослин – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)									
Албанус	28	29	29	27	29	26	27	26	25
ЕС Муссон	27	28	27	26	27	23	25	26	22
Калатур	27	28	23	24	25	21	27	24	22
ЕС Фоен	27	25	23	28	27	23	25	27	23
ЕС Алізе	26	24	24	28	26	22	28	26	22

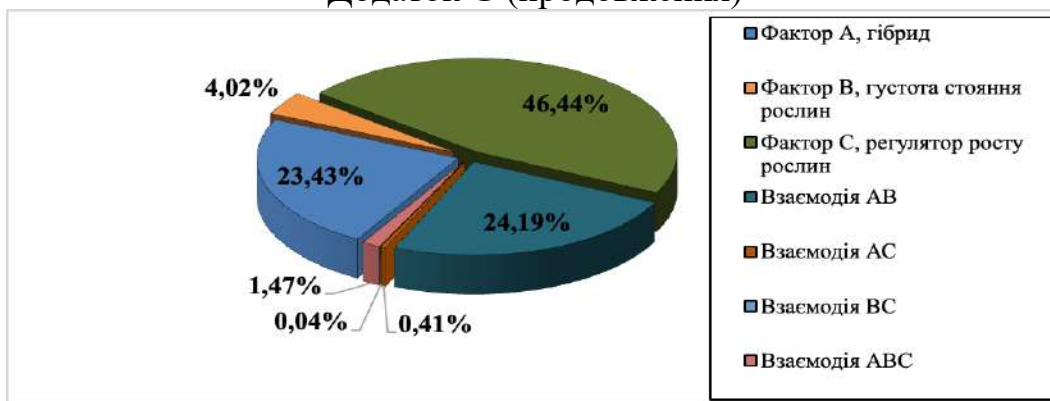


а) 2022 рік

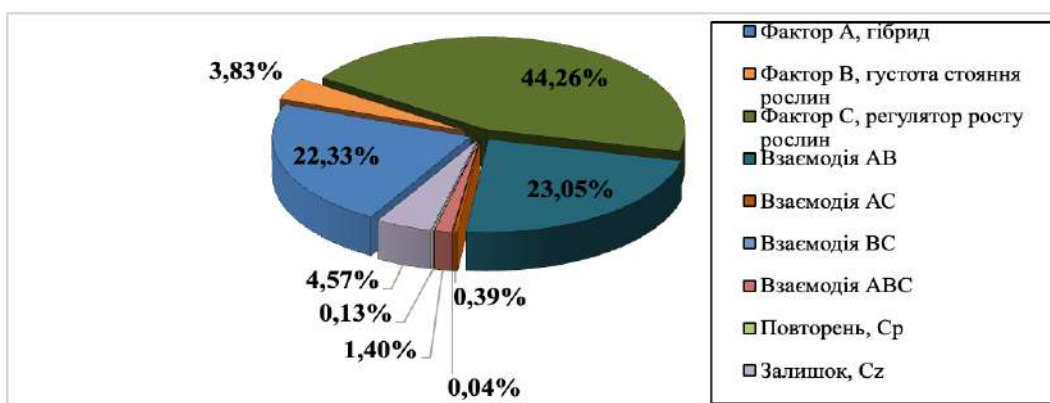


б) 2022 рік

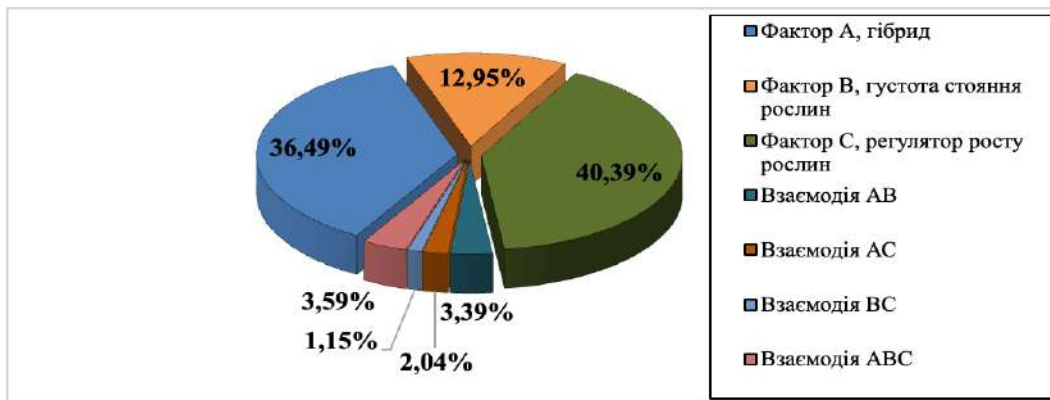
Додаток Г (продовження)



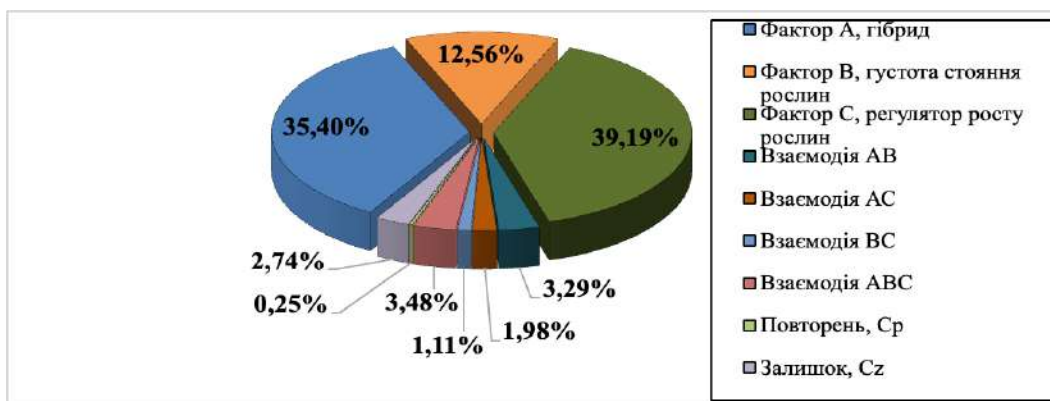
а) 2023 рік



б) 2023 рік



а) 2024 рік

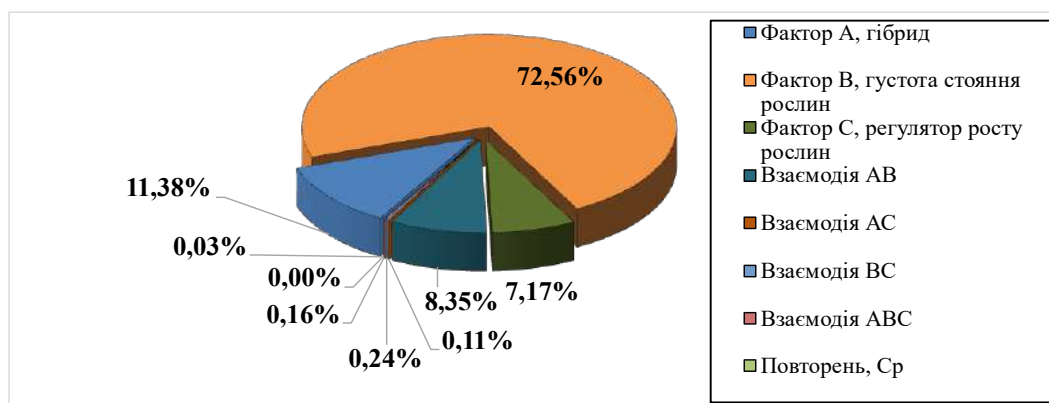
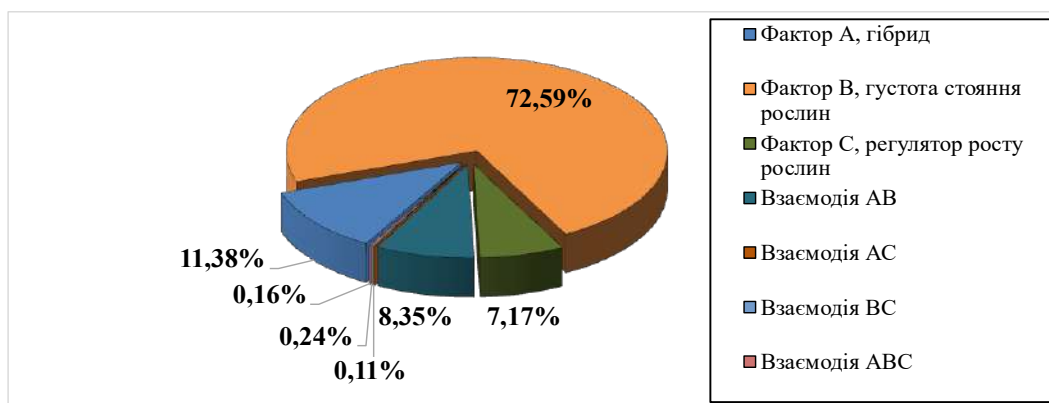


б) 2024 рік

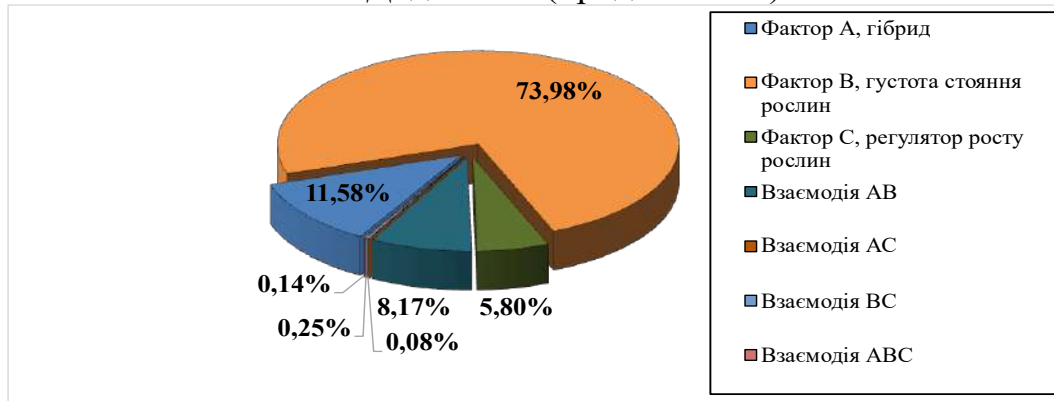
Додаток І. Урожайність гібридів сорго зернового в залежності від густоти стояння рослин та регулятору росту рослин за роки проведення досліджень, т/га:

а) факторна сума; б) загальна сума

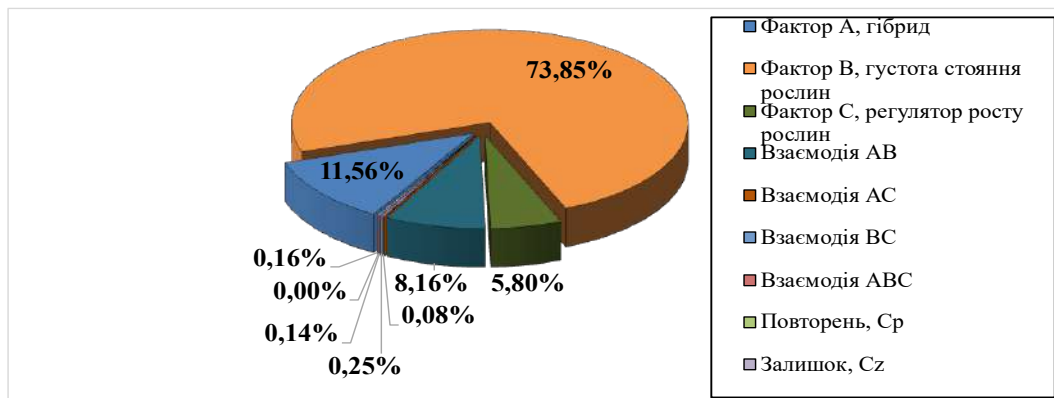
Гібрид (Фактор А)	Густота стояння рослин, тис.шт./га (Фактор В)								
	170 (К)			200			230		
	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.	2022 р.	2023 р.	2024 р.
Контроль (вода) – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)									
Албанус	3,65	3,77	3,23	4,03	4,15	3,92	4,20	4,32	3,75
ЕС Муссон	3,65	3,77	3,22	4,69	4,81	4,08	4,18	4,37	3,80
Калатур	4,15	4,37	3,68	4,73	4,85	4,11	3,94	4,06	3,53
ЕС Фоен	3,45	3,55	3,04	4,74	4,88	4,13	4,07	4,19	3,63
ЕС Алізе	3,95	4,07	3,60	4,28	4,38	3,71	3,71	3,83	3,33
Регулятор росту рослин – 0,5+0,5 л/га (Фактор С)									
Албанус	3,90	4,02	3,44	4,52	4,64	4,15	4,39	4,51	3,92
ЕС Муссон	3,97	4,01	3,42	5,03	5,11	4,32	4,54	4,60	3,99
Калатур	4,53	4,65	4,02	5,11	5,13	4,35	4,23	4,32	3,75
ЕС Фоен	3,70	3,79	3,23	5,08	5,17	4,37	4,25	4,37	3,78
ЕС Алізе	4,15	4,25	3,78	4,59	4,71	3,99	3,97	4,06	3,52



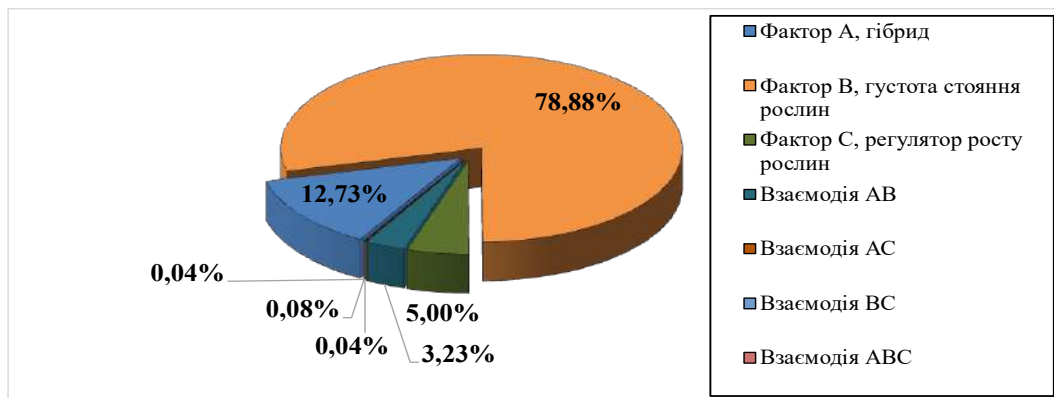
Додаток Н (продовження)



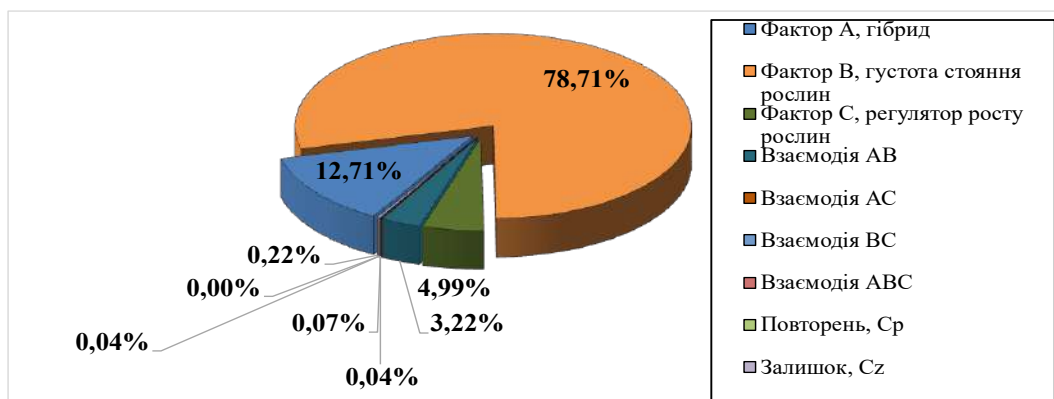
а) 2023 рік



б) 2023 рік



а) 2024 рік



б) 2024 рік

Додаток J (продовження). Економічна ефективність адаптивних технологій вирощування сорго зернового за впливу досліджуваних факторів (2023 рік)

[illegible]

Додаток J (продовження). Економічна ефективність адаптивних технологій вирощування сорго зернового за впливу досліджуваних факторів (2024 рік)

ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА вирощування і збирання с.-г. культури										2024 РІК	
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови вирощування:											
- досліджувані фактори (змінні витрати)											
- сім'я											
- збирання урожаю											
Умови											

Додаток К. Біоенергетична ефективність адаптивних технологій
вання сорго зернового за впливу досліджуваних факторів (2022 рік)

[illegible]

Додаток К (продовження). Біоенергетична ефективність адаптивних технологій вирощування сорго зернового за впливу досліджуваних факторів (2023 рік)

[illegible]

**Статті у наукових виданнях,
включених до Переліку наукових фахових видань України**

1. Сухіна Д. В. Формування площі листкової поверхні гібридів сорго зернового (*Sorghum*) залежно від густоти стояння рослин та застосування регулятора росту. *Агроекологічний журнал*. 2025. № 2. С. 156-162.

2. Сухіна Д. В., Новицька Н. В. Якість зерна гібридів сорго зернового залежно від густоти рослин та регулятора росту в умовах Північного Степу України. *Новітні агротехнології*. 2025. Т. 13, № 1. (Сухіною Д. В. проведено визначення якісних показників зерна сорго, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено до друку відповідно до вимог видавництва. Новицькою Н. В. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, проведено статистичну обробку отриманих даних).

3. Sukhina D. V., Novytska N. V. Productivity of *Sorghum bicolor* as affected by agronomical practices in the Northern Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*. 2025. № 32. P. 104–113. (Sukhina D. V. проведено аналіз елементів структури врожаю, врожайності зерна сорго, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний науковий пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено статтю до друку. Novytska N. проведено статистичні розрахунки, визначено мету, практичне значення та новизну дослідження).

4. Sukhina D., Novytska N. Influence of agronomic practices on the photosynthetic activity of grain sorghum hybrids in the Northern Steppe of Ukraine. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2025. Vol. 21. No 2. P. 120-133. (Sukhina D. V. проведено визначення площі листкової поверхні та чистої продуктивності фотосинтезу за фазами розвитку сорго зернового, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації,

підготовлено статтю до друку відповідно до вимог видавництва. Novytska N. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, проведено статистичну обробку отриманих даних).

Тези наукових доповідей:

5. Kalenska S., Garbar L., Novytska N., Fediv R. Kalenskyi V., **Suhina D.** Challenges to crop production and ways to solve them. Trends and challenges in soil-crop management: 2nd Central European ISTRO Conference (CESTRO) and 8th International Conference of the Czech ISTRO branch September, 6–8, 2022, Brno, Czech Republic: Book of Abstracts. Brno, 2022. P. 38–39. *(Kalenska S. проведено аналіз актуальних проблем продуктивності сільськогосподарських культур. Garbar L. визначено сучасні методи підвищення продуктивності культур. Novytska N. визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами. Fediv R. проведено літературний науковий пошук. Kalenskyi V. визначено мету, практичне значення та новизну дослідження. Suhina D. узагальнено висновки та підготовлено до друку відповідно до вимог видавництва).*

6. **Сухіна Д. В.**, Каленська С. М. Вплив норми висіву та регуляторів росту рослин на врожайність гібридів сорго зернового в умовах Степу України. Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнної відбудови: виклики для України та світу: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 25 травня 2023 року: тези доповіді. Київ, 2023. С. 201–203. *(Сухіною Д. В. проведено аналіз елементів структури врожаю, врожайності зерна сорго, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний науковий пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено тези до друку. Каленською С. М. проведено статистичні розрахунки, визначено мету, практичне значення та новизну дослідження).*

7. **Сухіна Д. В.**, Новицька Н. В. Формування площі листкової поверхні рослин гібридів сорго зернового залежно від технологічних прийомів вирощування. Сучасні підходи до вирощування, переробки і зберігання продукції рослинництва: Всеукраїнська науково-практична конференція, м. Миколаїв, 21–22 березня 2024 року: тези доповіді. Миколаїв, 2024. С. 15–18. *(Сухіною Д. В. проведено визначення площі листкової поверхні та чистої продуктивності фотосинтезу за фазами розвитку сорго зернового,*

проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено до друку тези відповідно до вимог видавництва. Новицькою Н. В. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, проведено статистичну обробку отриманих даних).

8. **Сухіна Д. В.,** Новицька Н. В. Фенологічні особливості гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин та застосування регулятора росту рослин у степовій зоні України. Селекція, генетика та технології вирощування сільськогосподарських культур: XII Міжнародна науково-практична конференція, с. Центральне, 19 квітня 2024 року: тези доповіді. Центральне, 2024. С. 165–166. *(Сухіною Д. В. проведено визначення термінів настання фенологічних фаз росту та розвитку сорго зернового, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації. Новицькою Н. В. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, проведено статистичну обробку отриманих даних).*

9. **Сухіна Д. В.,** Новицька Н. В. Сучасний стан, ефективність та перспективи виробництва сорго зернового на Півдні України. Післявоєнне відновлення ґрунтових і рослинних ресурсів та продовольча безпека країни: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 20–21 червня 2024 року: тези доповіді. Київ, 2024. С. 124–127. *(Сухіною Д. В. проведено аналіз сучасного стану вирощування сорго зернового в Україні, визначено перспективи розвитку культури, узагальнено результати досліджень, проведено літературний пошук, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено до друку тези. Новицькою Н. В. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень).*

10. **Сухіна Д. В.,** Новицька Н. В. Продуктивність гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин та застосування регулятора росту рослин в умовах недостатнього зволоження. Освіта і наука в умовах викликів і загроз. Внесок молодих вчених в сталий розвиток: Міжнародна наукова конференція,

м. Київ, 21–22 листопада 2024 року: тези доповіді. Київ, 2024. С. 218–219. *(Сухіною Д. В. проведено аналіз елементів структури врожаю, врожайності зерна сорго, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний науковий пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено до друку тези. Новицькою Н. В. проведено статистичні розрахунки, визначено мету, практичне значення та новизну дослідження).*

11. Sukhina D., Novitzka N. The influence of plant quantity and using growth regulator «Appetizer» on the coefficient of branching of Sorghum bicolor hybrids in conditions of the Steppe zone of Ukraine. Science, technology, innovation: current issues of theory and practice: International Scientific Conference, Riga, Latvia, December, 6–7, 2024: Book of Abstracts. Riga, 2024. P. 26–29. *(Sukhina D. визначено коефіцієнти продуктивного кушення, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний науковий пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено тези до друку. Novytska N. проведено статистичні розрахунки, визначено мету, практичне значення та новизну дослідження).*

12. Сухіна Д. В., Новицька Н. В. Якість зерна гібридів сорго зернового залежно від густоти стояння рослин та застосування біостимулятора в умовах Північного Степу України. Продовольча безпека України. Збереження та відновлення ґрунтових і рослинних ресурсів: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 22–23 травня 2025 року: тези доповіді. Київ, 2025. С. 236–240. *(Сухіною Д. В. проведено визначення якісних показників зерна сорго, проаналізовано, узагальнено результати досліджень, проведено літературний пошук, визначено відповідні узгодження та відмінності результатів дослідження з опублікованими раніше роботами, порівняно та узагальнено наукові дослідження за темою публікації, підготовлено тези до друку відповідно до вимог видавництва. Новицькою Н. В. визначено актуальність, сформульовано наукову новизну, практичне значення та мету проведених досліджень, проведено статистичну обробку отриманих даних).*