

**Національна академія аграрних наук України
Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків**

КОПИТОВ Олексій Валерійович

УДК 663.62:631.5/9

**ДИСЕРТАЦІЯ
МОДИФІКАЦІЙНІ ЗМІНИ АДАПТИВНОСТІ КУКУРУДЗИ ДО
ТЕМПЕРАТУРНОГО ТА ВОДНОГО СТРЕСУ В УМОВАХ
ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

Спеціальність 201 – агрономія
20 – Аграрні науки та продовольство

Науковий керівник
доктор сільськогосподарських наук,
професор О.І. Присяжнюк

Київ – 2026

АНОТАЦІЯ

КОПИТОВ О. В. Модифікаційні зміни адаптивності кукурудзи до температурного та водного стресу в умовах Лісостепу України.
Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття освітньо-наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 – агрономія (20 – аграрні науки та продовольство). Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, м. Київ, 2026.

У дисертаційній роботі наведено теоретичне обґрунтування та практичне вирішення наукового завдання з розробки елементів технології вирощування кукурудзи в умовах Лісостепу України.

Узагальнення усереднених за роками досліджень показало, що ріст і розвиток рослин кукурудзи істотно залежать від поєднання застосування кріопротектора та вологоутримувача, які впливають на формування морфобіометричних і фізіологічних показників протягом вегетації. Усереднення даних дозволило виокремити сталі реакції культури, що не залежать від специфіки окремих років і відображають загальні закономірності функціонування агроценозу.

У середньому за роки досліджень застосування кріопротектора сприяло покращенню стартового росту рослин, що проявлялося у збільшенні висоти рослин на 4–9 % порівняно з абсолютним контролем. Додаткове внесення вологоутримувача у помірних нормах (50–100 кг/га) забезпечувало подальше підвищення цього показника ще на 2–4 %, що свідчить про оптимізацію водного режиму кореневої зони та більш рівномірний перебіг ростових процесів.

Площа листової поверхні, як інтегральний показник інтенсивності асиміляційних процесів, за усередненими даними була найбільш чутливою до дії досліджуваних факторів. У варіантах із поєднанням кріопротектора та вологоутримувача 50 кг/га вона перевищувала контрольні значення на 8–15 %, що відповідає збільшенню асиміляційного апарату на 0,3–0,6 тис. м²/га.

Подальше підвищення норми вологоутримувача до 150–200 кг/га не супроводжувалося істотним зростанням площі листкової поверхні (приріст не перевищував 1–2 %), що вказує на досягнення фізіологічного оптимуму.

Усереднений аналіз біометричних параметрів розвитку підтвердив, що досліджувані фактори впливали переважно на інтенсивність росту та вирівняність рослин, а не на зміну архітекtonіки стебла. Відхилення за основними лінійними показниками між варіантами перебували в межах біологічно допустимої мінливості, що свідчить про відсутність негативного морфорегуляторного ефекту навіть за комбінованого застосування препаратів.

Важливою узагальненою закономірністю є вплив досліджуваних факторів на стабільність формування ростових показників. Коефіцієнт варіації для більшості морфобіометричних параметрів у контрольному варіанті становив у середньому 15–17 %, тоді як у варіантах із застосуванням кріопротектора в поєднанні з вологоутримувачем 50 кг/га він знижувався до 6–10 %, що свідчить про істотне підвищення екологічної стабільності росту рослин.

Застосування вологоутримувача у підвищених нормах (150–200 кг/га) не забезпечувало подальшого покращення середніх значень ростових показників і супроводжувалося зростанням їх варіабельності, що підтверджує наявність чітко вираженого оптимуму дії цього фактора та обмежену доцільність його надмірного використання.

Таким чином, усереднення багаторічних даних дозволяє зробити висновок, що найбільш сприятливі умови для формування вирівняних, морфологічно стабільних і фізіологічно повноцінних рослин кукурудзи створюються за поєднання кріопротектора з вологоутримувачем у нормі 50–100 кг/га, що забезпечує підвищення середніх ростових показників на 8–15 % та зниження їх варіабельності до рівня ≤ 10 %.

Продуктивність та якісні показники кукурудзи формуються під комплексним впливом досліджуваних елементів технології, насамперед застосування кріопротектора та вологоутримувача, які визначають

ефективність реалізації потенціалу культури в умовах нестійкого зволоження та температурних стресів. Усереднення даних дало змогу виявити стійкі закономірності, характерні для всієї сукупності років досліджень.

У середньому за період досліджень застосування кріопротектора забезпечувало стабільне підвищення урожайності зерна кукурудзи на 8–15 % порівняно з абсолютним контролем, що свідчить про покращення фізіологічного стану рослин у критичні фази росту та наливу зерна. Поєднання кріопротектора з вологоутримувачем у помірних нормах (50–100 кг/га) посилювало цей ефект, забезпечуючи сумарний приріст урожайності на 20–25 % у середньому за роки досліджень.

Аналіз усереднених елементів структури врожаю показав, що досліджувані фактори впливали переважно на показники, пов'язані з реалізацією продуктивності, а не з її закладанням. Кількість рядів зерен у качані залишалася відносно стабільною, тоді як кількість зерен у ряду зростала в середньому на 6–11 %, а маса зерна з одного качана – на 8–14 % порівняно з контролем. Це вказує на визначальну роль оптимізації водного та фізіологічного режимів у період наливу зерна.

Усереднений аналіз якості зерна засвідчив, що застосування кріопротектора та вологоутримувача не погіршувало основних технологічних показників. Навпаки, у варіантах із помірними нормами вологоутримувача спостерігалася тенденція до зниження вологості зерна на момент збирання на 0,4–0,8 %, що має важливе практичне значення для зменшення витрат на післязбиральне досушування.

Важливою узагальненою закономірністю, є вплив досліджуваних факторів на стабільність формування урожайності та її структурних показників. Коефіцієнт варіації урожайності зерна у контрольному варіанті в середньому становив 16–17 %, тоді як у варіантах із поєднанням кріопротектора та вологоутримувача 50 кг/га він знижувався до 6–10 %, що свідчить про підвищення екологічної стабільності продуктивності майже у 2–2,5 рази.

Підвищення норми вологоутримувача до 150–200 кг/га не забезпечувало подальшого зростання середніх показників урожайності та якості зерна і супроводжувалося зростанням їх варіабельності, що підтверджує наявність оптимуму дії цього фактора та обмежує доцільність його використання у надмірних дозах.

Таким чином, узагальнення усереднених за роками даних дозволяє зробити висновок, що найбільш ефективним і технологічно доцільним є поєднання кріопротектора з вологоутримувачем у нормі 50–100 кг/га, яке забезпечує підвищення середньої урожайності зерна на 20–25 %, покращення реалізації елементів структури врожаю та зниження варіабельності продуктивності до рівня ≤ 10 %, що є критично важливим для стабільного виробництва кукурудзи в умовах кліматичної мінливості.

Комплексне застосування показників дисперсії (S^2), коефіцієнта варіації (CV) та індексу фенотипової стабільності (IF) дозволило здійснити багаторівневу оцінку модифікаційної мінливості та адаптивності кукурудзи за основними ростовими, продуктивними та якісними ознаками. Використання цих індексів дало змогу перейти від аналізу середніх значень до оцінювання стабільності реалізації біологічного потенціалу культури в умовах міжрічної мінливості середовища.

Загальним узагальнюючим результатом розділу є встановлення чітко вираженого адаптивного оптимуму технології вирощування кукурудзи, який формується за поєднання передпосівного застосування кріопротектора АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС із вологоутримувачем AQUASORB у нормі 50–100 кг/га. Саме ці варіанти забезпечували одночасно високі середні значення досліджуваних показників та мінімальну модифікаційну мінливість, що є визначальною ознакою адаптивних і технологічно надійних агроценозів.

Отримані результати підтверджують доцільність використання індексів S^2 , CV та IF як ефективного інструментарію для оцінювання модифікаційної адаптивності сільськогосподарських культур і дозволяють науково обґрунтувати вибір технологічних рішень, спрямованих на стабільне

формування продуктивності та якості зерна кукурудзи в умовах кліматичної мінливості.

Комплексна оцінка економічної та енергетичної результативності технологій вирощування кукурудзи показала, що найбільш ефективними є ті прийоми, які забезпечують оптимальний баланс між урожайністю, витратами на технологію та енерговитратами на її реалізацію. Аналіз включав оцінку чистого прибутку, рівня рентабельності, енергетичного виходу та коефіцієнта енергетичної ефективності (КЕЕ).

У контрольному варіанті (без застосування препаратів) середня врожайність становила 6,02 т/га, а рентабельність – 68 %. Коефіцієнт енергетичної ефективності (3,93) був нижчим, ніж у більшості технологічних варіантів, що свідчить про обмежену здатність базової технології забезпечувати високий рівень енергетичного виходу в умовах коливання гідротермічних факторів.

Застосування гідрогелю AQUASORB у нормі 50 кг/га забезпечувало помірне підвищення урожайності та енергетичного виходу (КЕЕ = 4,28), проте економічна ефективність залишалася нижчою порівняно з більш прогресивними варіантами. Застосування AQUASORB у дозах понад 100 кг/га виявилось економічно збитковим та енергетично нераціональним, що свідчить про наявність чіткої оптимальної норми застосування гідрогелю.

Застосування АМАЛГЕРОЛУ після заморозків забезпечувало стабільний економічний ефект і підвищення КЕЕ до 4,20. Це свідчить про здатність препарату відновлювати фізіологічну активність рослин після ранньовесняних стресів, проте загальна ефективність поступалася передпосівному внесенню.

Комбіноване застосування АМАЛГЕРОЛ + AQUASORB (50 кг/га) дало один із найкращих результатів за енергетичними параметрами (КЕЕ = 4,62) та забезпечило істотне підвищення урожайності. Економічна ефективність цього варіанту була стабільною, однак нижчою порівняно з передпосівним застосуванням АМАЛГЕРОЛУ через вищу собівартість комплексу препаратів.

Найвищі показники економічної та енергетичної ефективності були отримані у варіантах із передпосівною обробкою насіння препаратом АМАЛГЕРОЛ. Цей прийом забезпечив найвищий чистий прибуток (24 040 грн/га), максимальну рентабельність (103,7 %), високий КЕЕ (5,11) при мінімальних додаткових енерговитратах, стабільність ефекту в усі роки незалежно від погодних умов.

Передпосівне застосування АМАЛГЕРОЛУ у поєднанні з AQUASORB 50 кг/га забезпечило найвищу енергетичну ефективність серед усіх варіантів (КЕЕ = 5,51), що свідчить про найкраще співвідношення «вкладена – отримана енергія». Урожайність при цьому була найбільшою (8,58 т/га), а чистий прибуток залишався високим (19 300 грн/га), незважаючи на збільшені затрати на матеріал.

Загальний аналіз показав, що високі дози гідрогелю AQUASORB (100–200 кг/га) виявилися системно неефективними за обома критеріями – економічним та енергетичним. Вони призводили до значного збільшення енерговитрат і собівартості без відповідного приросту урожайності, що робить їх недоцільними для виробничого використання.

Узгодженість економічних та енергетичних показників підтверджує, що оптимальними є технології, що поєднують помірні витрати з біологічно обґрунтованою дією препаратів. Технологічні рішення, які забезпечують високу рентабельність, водночас демонструють і високу енергетичну окупність.

Комплексний аналіз дозволив визначити два технологічні рішення, які слід вважати найкращими та рекомендованими до впровадження у виробництво: передпосівна обробка насіння АМАЛГЕРОЛОМ та передпосівна обробка АМАЛГЕРОЛ + AQUASORB 50 кг/га.

Проведені дослідження підтвердили, що сучасні технології, засновані на поєднанні біостимуляції та оптимізації водного режиму, формують найефективнішу модель інтенсивного та адаптивного вирощування

кукурудзи, забезпечуючи високий рівень продуктивності, економічної окупності та раціонального енергоспоживання.

***Ключові слова:** адаптивна технологія вирощування; кріопротектор; вологоутримувач; ріст і розвиток рослин; стабільність урожайності; елементи структури врожаю; економічна ефективність; енергетична ефективність.*

ABSTRACT

KOPYTOV O. V. Modification Changes in Maize Adaptability to Temperature and Water Stress under the Conditions of the Forest-Steppe of Ukraine. Qualification scientific work submitted as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 201 – Agronomy (Field of knowledge 20 – Agricultural Sciences and Food). Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv, 2026.

The dissertation presents a theoretical substantiation and practical solution to a scientific problem related to the development of elements of maize cultivation technology under the conditions of the Forest-Steppe zone of Ukraine.

The generalization of data averaged over the years of research showed that the growth and development of maize plants substantially depend on the combined application of a cryoprotectant and a moisture-retaining agent, which affect the formation of morphobiometric and physiological traits throughout the growing season. Data averaging made it possible to identify stable crop responses independent of the specific conditions of individual years and reflecting general patterns of agrocenosis functioning.

On average over the years of research, the application of the cryoprotectant improved early plant growth, which was expressed as an increase in plant height by 4–9% compared with the absolute control. Additional application of the moisture-retaining agent at moderate rates (50–100 kg/ha) provided a further increase of this parameter by 2–4%, indicating optimization of the water regime in the root zone and a more uniform course of growth processes.

Leaf area, as an integral indicator of the intensity of assimilatory processes, was the most sensitive to the studied factors under averaged conditions. In treatments combining the cryoprotectant with 50 kg/ha of the moisture-retaining agent, leaf area exceeded the control by 8–15%, corresponding to an increase in the assimilatory apparatus by 0.3–0.6 thousand m²/ha. A further increase in the rate of the moisture-

retaining agent to 150–200 kg/ha did not result in a significant increase in leaf area (the increment did not exceed 1–2%), indicating the attainment of a physiological optimum.

The averaged analysis of biometric development parameters confirmed that the studied factors mainly influenced growth intensity and plant uniformity rather than stem architecture. Deviations in the main linear traits among treatments remained within the limits of biologically permissible variability, indicating the absence of negative morphoregulatory effects even under combined application of the products.

An important generalized pattern was the influence of the studied factors on the stability of growth trait formation. The coefficient of variation for most morphobiometric parameters in the control averaged 15–17%, whereas in treatments with the combined application of the cryoprotectant and 50 kg/ha of the moisture-retaining agent it decreased to 6–10%, indicating a substantial increase in the ecological stability of plant growth.

Application of the moisture-retaining agent at increased rates (150–200 kg/ha) did not improve the average values of growth parameters and was accompanied by increased variability, confirming the presence of a clearly defined optimum and limiting the feasibility of excessive application.

Thus, averaging long-term data allows the conclusion that the most favorable conditions for the formation of uniform, morphologically stable, and physiologically sound maize plants are created by combining the cryoprotectant with the moisture-retaining agent at 50–100 kg/ha, which ensures an increase in average growth parameters by 8–15% and a reduction in their variability to $\leq 10\%$.

Maize productivity and quality parameters are formed under the combined influence of the studied technological elements, primarily the application of the cryoprotectant and the moisture-retaining agent, which determine the efficiency of realizing crop potential under conditions of unstable moisture supply and temperature stress. Data averaging made it possible to identify stable patterns characteristic of the entire set of study years.

On average over the research period, application of the cryoprotectant ensured a stable increase in maize grain yield by 8–15% compared with the absolute control, indicating an improved physiological state of plants during critical growth and grain-filling stages. Combining the cryoprotectant with the moisture-retaining agent at moderate rates (50–100 kg/ha) enhanced this effect, providing a total yield increase of 20–25% on average over the years.

Analysis of averaged yield structure elements showed that the studied factors mainly affected parameters related to yield realization rather than yield formation. The number of kernel rows per ear remained relatively stable, while the number of kernels per row increased by 6–11% and kernel weight per ear by 8–14% compared with the control. This indicates the decisive role of optimizing water and physiological regimes during the grain-filling period.

The averaged analysis of grain quality showed that application of the cryoprotectant and the moisture-retaining agent did not deteriorate the main technological parameters. On the contrary, in treatments with moderate rates of the moisture-retaining agent, there was a tendency toward a reduction in grain moisture at harvest by 0.4–0.8 percentage points, which is of practical importance for reducing post-harvest drying costs.

A key generalized pattern was the effect of the studied factors on the stability of yield formation and its structural components. The coefficient of variation of grain yield in the control averaged 16–17%, whereas in treatments combining the cryoprotectant with 50 kg/ha of the moisture-retaining agent it decreased to 6–10%, indicating an increase in ecological stability of productivity by nearly 2–2.5 times.

Increasing the rate of the moisture-retaining agent to 150–200 kg/ha did not result in further growth of average yield and grain quality parameters and was accompanied by increased variability, confirming the existence of an optimal rate and limiting the feasibility of excessive application.

Thus, generalization of the averaged data allows the conclusion that the most effective and technologically justified combination is the application of the cryoprotectant with the moisture-retaining agent at 50–100 kg/ha, which ensures an

increase in average grain yield by 20–25%, improved realization of yield structure elements, and a reduction in productivity variability to $\leq 10\%$, which is critically important for stable maize production under conditions of climate variability.

The integrated application of variance (S^2), coefficient of variation (CV), and phenotypic stability index (IF) enabled a multilevel assessment of modification variability and adaptability of maize with respect to the main growth, productivity, and quality traits. The use of these indices made it possible to move beyond the analysis of mean values toward evaluating the stability of biological potential realization under conditions of interannual environmental variability.

The general integrative outcome of this section is the identification of a clearly expressed adaptive optimum of the maize cultivation technology, which is formed by combining pre-sowing application of the cryoprotectant AMALGEROL ESSENCE with the moisture-retaining agent AQUASORB at a rate of 50–100 kg/ha. These treatments simultaneously ensured high mean values of the studied traits and minimal modification variability, which is a defining characteristic of adaptive and technologically reliable agrocenoses.

The obtained results confirm the feasibility of using the S^2 , CV, and IF indices as effective tools for assessing the modification adaptability of agricultural crops and provide a scientific basis for selecting technological solutions aimed at stable formation of maize grain productivity and quality under conditions of climatic variability.

A comprehensive assessment of the economic and energy efficiency of maize cultivation technologies showed that the most effective practices are those ensuring an optimal balance between yield level, technological costs, and energy inputs. The analysis included evaluation of net profit, profitability level, energy output, and the energy efficiency coefficient (EEC).

In the control treatment (without product application), the average yield was 6.02 t/ha, profitability was 68%, and the energy efficiency coefficient (3.93) was lower than in most technological variants, indicating a limited capacity of the basic technology to ensure high energy output under fluctuating hydrothermal conditions.

Application of the hydrogel AQUASORB at 50 kg/ha resulted in a moderate increase in yield and energy output (EEC = 4.28); however, economic efficiency remained lower compared with more advanced variants. Application of AQUASORB at rates exceeding 100 kg/ha proved to be economically unprofitable and energetically irrational, indicating a clearly defined optimal rate.

Post-frost application of AMALGEROL ensured a stable economic effect and increased the EEC to 4.20, demonstrating the product's ability to restore physiological activity of plants after early spring stress, although overall efficiency was lower than that of pre-sowing application.

Combined application of AMALGEROL + AQUASORB (50 kg/ha) produced one of the best results in terms of energy performance (EEC = 4.62) and ensured a substantial yield increase. Economic efficiency of this variant was stable but lower than that of pre-sowing AMALGEROL application due to higher input costs.

The highest economic and energy efficiency indicators were obtained in treatments with pre-sowing seed treatment using AMALGEROL. This practice provided the highest net profit (UAH 24,040/ha), maximum profitability (103.7%), and a high EEC (5.11) with minimal additional energy inputs, demonstrating stability across all years regardless of weather conditions.

Pre-sowing application of AMALGEROL combined with AQUASORB at 50 kg/ha ensured the highest energy efficiency among all treatments (EEC = 5.51), indicating the most favorable ratio of energy input to output. Yield was the highest (8.58 t/ha), and net profit remained high (UAH 19,300/ha) despite increased material costs.

Overall analysis showed that high rates of the AQUASORB hydrogel (100–200 kg/ha) were systematically ineffective by both economic and energy criteria. They led to significant increases in energy consumption and production costs without a corresponding yield increase, making them impractical for production use.

Consistency between economic and energy indicators confirms that optimal technologies are those combining moderate costs with biologically justified action

of applied products. Technological solutions ensuring high profitability simultaneously demonstrate high energy payback.

The comprehensive analysis made it possible to identify two technological solutions that should be considered optimal and recommended for practical implementation: pre-sowing seed treatment with AMALGEROL and pre-sowing application of AMALGEROL combined with AQUASORB at 50 kg/ha.

The conducted research confirmed that modern technologies based on the combination of biostimulation and water regime optimization form the most effective model of intensive and adaptive maize cultivation, ensuring high productivity, economic profitability, and rational energy use.

Keywords: *adaptive cultivation technology; cryoprotectant; moisture-retaining agent; plant growth and development; yield stability; yield structure elements; economic efficiency; energy efficiency.*

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях

1. Присяжнюк О. І., **Копитов О. В.** Формування врожайності та якості зерна кукурудзи за застосування кріопротектора та вологоутримувача в умовах Лісостепу України. *Новітні агротехнології*, 13(3). 2025. <https://doi.org/10.47414/na.13.3.2025.348710>
2. Присяжнюк О. І., **Копитов О. В.** Модифікаційна мінливість та адаптивність кукурудзи залежно від елементів технології вирощування. *Новітні агротехнології*, 13(2). 2025. <https://doi.org/10.47414/na.13.2.2025.348241>
3. Присяжнюк О. І., **Копитов О. В.** Закономірності зміни фотосинтетичних параметрів кукурудзи залежно від елементів технології вирощування. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*, (33), 2025. 108–119. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349327>

Матеріали наукових конференцій

4. Присяжнюк О.І., **Копитов О.В.**, Борисенко Б.М., Лук'янчук О.В. Особливості використання Sentinel-2 для моніторингу сільськогосподарських культур. «Новітні агротехнології та сортовивчення». Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції «Новітні агротехнології та сортовивчення». (Київ, 7 червня 2024). Київ, 2024. С. 24.

ЗМІСТ

ВСТУП	18
Розділ 1. ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ (огляд наукової літератури)	23
1.1. Перспективи вирощування кукурудзи в Україні, ботанічна характеристика та біологічні особливості	23
1.2. Ріст та розвиток сільськогосподарських культур за застосування вологоутримувача, стимуляторів та кріопротектора	29
1.3. Адаптивний потенціал гібридів кукурудзи	34
Розділ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	40
2.1. Ґрунтово-кліматичні умови зони проведення досліджень	40
2.2. Характеристика ґрунту дослідних ділянок	41
2.3. Погодні умови в роки досліджень	41
2.4. Схема та методика проведення досліджень	55
2.5. Особливості технології вирощування кукурудзи на дослідних ділянках	59
2.6. Характеристика гібриду кукурудзи та препаратів використовуваних в досліді	63
Розділ 3. ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА РІСТ ТА РОЗВИТОК КУКУРУДЗИ	69
3.1. Водоспоживання та ріст і розвиток кукурудзи залежно від факторів досліді	70

3.2. Фотосинтетичні параметри кукурудзи залежно від факторів дослід	90
3.3. Рівень впливу елементів технології на структурні показники врожаю кукурудзи	102
Розділ 4. УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ	115
Розділ 5. МОДИФІКАЦІЙНА МІНЛИВІСТЬ ТА АДАПТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ	131
Розділ 5. ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ	145
ВИСНОВКИ	159
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	161
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	162
ДОДАТКИ	182

ВСТУП

За останні п'ятдесят років площі земель, які використовуються у сільському господарстві залишилися практично без змін, тоді як населення Землі зросло більше ніж у двічі. Забезпечення такої кількості населення продуктами харчування відбувається за рахунок поліпшення існуючих та створення нових елементів технології вирощування сільськогосподарських культур.

Сучасні гібриди кукурудзи мають досить високу потенційну урожайність і якість зерна. Однак в результаті того, що за останні роки все частіше виникають екстремальні умови для життєдіяльності рослин (низькі від'ємні температури, затяжні посухи, нестача вологи та ін.), стає дуже актуальним питання коригування існуючих технологій вирощування.

Адже успішне впровадження інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур у значній мірі залежить від вирішення проблеми підвищення стійкості рослин до несприятливих факторів, як на етапі проростання насіння, так і у період вегетації.

В питаннях технологій вирощування кукурудзи є два вузьких місця, а саме: дефіцит опадів та вплив екстремальних температур повітря. Причому саме з дефіцитом опадів агровиробничники борються шляхом досить ранніх посівів кукурудзи, що в свою чергу спричиняє значну можливість ушкодження рослин за рахунок несприятливої дії заморозків.

Водночас за вегетаційний період кукурудза, як і багато інших культур, має ключові періоди розвитку, що є критичними фазами за потребою в факторах живлення.

Так, в період закладання кількості рядів зерен у качані рослини дуже чутливі до стресів (волога, температура, дія хімічних речовин). У фазі 5–6 листочків при перепадах температур і відповідно – блокуванні споживання фосфору потрібно передбачити нормальне живлення рослин фосфором позакоренево чи попереднім внесенням стартових добрив у рядок.

В період закладання кількості зерен в ряду, що настає за 6–10 днів до викидання волоті бажано уникнути дії на культуру стресових чинників, таких як внесення інсектицидів на основі фосфорорганіки. Також потрібно передбачити достатнє живлення культури усіма необхідними елементами, оскільки саме в цей період спостерігається пік засвоєння.

В фазу цвітіння, через декілька днів після викидання волоті, на рослині з'являються рильця і вона готова до запилення. Якщо в цей час спостерігаються високі температури, пилок може стерилізуватися. Тривалість такого періоду понад тиждень може спричинити значні втрати врожайності у вигляді череззерниці.

В фазу наливу зерна рослини потребують значної кількості вологи та поживних речовин. При їх нестачі зернівки на качані не виповнюються, найбільше – із краю качана. Для уникнення або мінімізації цього явища потрібно забезпечити збалансоване живлення рослини усіма необхідними елементами та вологою. Часто спостерігається гострий дефіцит вологи на фоні високих температур, що посилює негативний вплив блокуванням доступності елементів живлення.

Під впливом несприятливих факторів навколишнього середовища рослини здатні проявляти певні рівні модифікаційної мінливості. Модифікаційна мінливість – мінливість, що характеризується зміною фенотипу під дією умов навколишнього середовища. Зміни у більшості випадків мають адаптивний характер, адже вони зумовлені реакцією генотипу на навколишнє середовище – нормою реакції.

Внаслідок дії модифікаційної мінливості відбувається зміна інтенсивності ферментативних реакцій (посилюється біосинтез певних білків), що зумовлює формування певних адаптацій до навколишнього середовища. При цьому зміни у фенотипі не успадковуються. Однак основним завданням технології вирощування усіх сільськогосподарських культур є потреба в максимальному використанні модифікаційної мінливості рослин задля забезпечення їх високої продуктивності.

Отже, вивчення елементів технології що забезпечують кращу адаптивність рослин до умов вирощування є актуальним питанням сьогодення вітчизняної аграрної науки.

Мета та завдання досліджень. Мета досліджень полягала в удосконаленні елементів технології вирощування кукурудзи, дослідженні особливостей формування модифікаційної мінливості на водний та тепловий стрес і власне формування продуктивності рослин за умови застосування кріопротекторів та вологоутримувачів.

Завдання досліджень:

- виявити особливості формування і реалізації потенціалу продуктивності рослин кукурудзи в онтогенезі залежно від їх взаємодії з прийомами технологій вирощування й факторами довкілля;
- обґрунтувати параметри моделей агрофітоценозів, що обумовлюють максимальну реалізацію модифікаційної мінливості та її вплив на формування біологічного потенціалу кукурудзи;
- розробити технологію вирощування кукурудзи з врахуванням адаптивного потенціалу, моделі рослини та агроценозу;
- вивчити продуктивність кукурудзи залежно від впливу кріопротекторів та вологоутримувача;
- встановити закономірності росту і розвитку та перебігу фотосинтетичних процесів кукурудзи залежно від впливу абіотичних факторів і агротехнічних прийомів;
- дати економічну й енергетичну оцінку ефективності досліджуваних елементів технології.

Наукова новизна досліджень. Уперше для умов Правобережного Лісостепу України обґрунтовано закономірності модифікаційних змін росту, розвитку, продуктивності та стабільності кукурудзи за комплексного впливу температурного й водного стресу та елементів адаптивної технології вирощування. Встановлено параметри оптимальної взаємодії кріопротектора та вологоутримувача, які забезпечують максимальну реалізацію біологічного

потенціалу кукурудзи за умов кліматичної мінливості. Доведено, що поєднання кріопротектора з вологоутримувачем у помірних нормах (50–100 кг/га) формує стійкі, відтворювані реакції агроценозу, незалежні від специфіки окремих років, і зумовлює підвищення середніх морфобіометричних показників на 8–15 % та зниження їх варіабельності до рівня ≤ 10 %.

Показано, що досліджувані елементи технології впливають не стільки на закладання елементів продуктивності, скільки на ефективність їх реалізації, що проявляється у зростанні кількості зерен у ряду на 6–11 %, маси зерна з одного качана – на 8–14 % та стабілізації процесів наливу зерна.

Обґрунтовано екологічну стабілізуючу роль кріопротектора та вологоутримувача у формуванні ростових і продуктивних показників кукурудзи, що підтверджується зменшенням коефіцієнтів варіації урожайності та її структурних елементів у 2,0–2,5 раза порівняно з контролем.

Виконано комплексну оцінку економічної та енергетичної ефективності адаптивних технологічних рішень з урахуванням продукції зерна та побічної біомаси, що дозволило визначити оптимальні варіанти з позицій чистого прибутку, рентабельності та коефіцієнта енергетичної ефективності.

Практична цінність роботи. Рекомендовано до виробничого впровадження оптимальні технологічні рішення – передпосівну обробку насіння кріопротектором та його поєднання з вологоутримувачем у нормі 50 кг/га, які забезпечують підвищення середньої урожайності зерна на 20–25 % та стабілізацію продуктивності за різних погодних умов.

Отримані результати можуть бути використані при обґрунтуванні адаптивних систем землеробства, спрямованих на підвищення екологічної стабільності агроценозів, а також у навчальному процесі закладів вищої освіти аграрного профілю при викладанні дисциплін «Рослинництво», «Агроекологія», «Технології вирощування польових культур» та «Енергетична оцінка агротехнологій».

Об'єкт досліджень: процеси росту, розвитку та формування продуктивності кукурудзи.

Предмет досліджень: варіанти застосування кріопротектора та вологоутримувача, агрономічна і біоенергетична їх ефективність.

Методи дослідження. Аналітичні – для визначення технологічних якостей і хімічного складу основної та побічної продукції кукурудзи. Лабораторний – для аналізу показників якості насіння кукурудзи. Польовий – для спостереження за ростом і розвитком рослин, умовами зовнішнього середовища, оцінки елементів технології вирощування кукурудзи, оцінки агротехнічного та економічного ефекту досліджуваних прийомів. Вимірально-ваговий – для обліку динаміки росту і врожайності. Математично-статистичний – для оцінки достовірності відмінностей між варіантами досліджень. Розрахунково-порівняльний – для встановлення економічної і енергетичної ефективності результатів досліджень.

Особистий внесок здобувача. Автор особисто опрацював наукову літературу, сформулював мету, завдання, програму, схеми досліджень. Виконав польові дослідження, статистично опрацював та проаналізував отримані результати, розрахував ефективність вирощування, підготував висновки та рекомендації виробництву.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на засіданнях відділу та обговорювалися на наукових конференціях упродовж 2023–2025 рр., у тому числі на: Новітні агротехнології та сортовивчення (2024 р., м. Київ).

Публікації результатів досліджень. За результатами дослідження опубліковано 4 праць, у тому числі 3 статей у фахових виданнях категорії «Б», 1 теза доповідей у матеріалах наукових конференцій.

Обсяг і структура дисертації. Дисертацію викладено на 183 сторінках машинописного тексту, та складається зі вступу, 5 розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел та додатків. Дисертація містить 30 таблиць та 3 рисунки а список використаних джерел налічує 179 найменувань, з яких 111 латиницею.

Розділ 1
ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА
ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ
(огляд наукової літератури)

1.1. Перспективи вирощування кукурудзи в Україні, ботанічна характеристика та біологічні особливості

Кукурудза (*Zea mays* L.) є однією з найважливіших зернових культур у світі, що відіграє ключову роль у продовольчій, кормовій та біоенергетичній безпеці. За оцінками FAO та USDA, у 2025/26 маркетинговому році світове виробництво зерна кукурудзи прогнозується на рекордному рівні – близько 1297–1301 млн т, що на понад 70 млн т перевищує показник попереднього 2024/25 МР, який становив 1230,6 млн т [97; 36]. Прогнозні обсяги світового експорту в новому сезоні зросли до 206,9–207,3 млн т, а кінцеві запаси оцінено на рівні 277,0–292,8 млн т, що є найвищим показником за останні п'ять років [97].

В Україні масштабне впровадження кукурудзи у виробництво відбулося в другій половині ХХ ст., однак справжній стрибок площ та валових зборів припав на 2000-ні – 2020-ті роки. Саме в цей період площі посівів зросли з 1,2 до 4–5 млн га, а валовий збір зерна змінювався в межах 26–37 млн т. Згідно з оновленими прогнозами USDA (березень 2026 р.), врожай кукурудзи в Україні у 2025/26 МР сягне 30,7 млн т, тобто на 1,7 млн т більше попередньої оцінки, тоді як експорт стабільно прогнозується на рівні 22,0 млн т [97; 136]. Структура світового виробництва за провідними країнами та регіонами наведена на рис. 1.1.

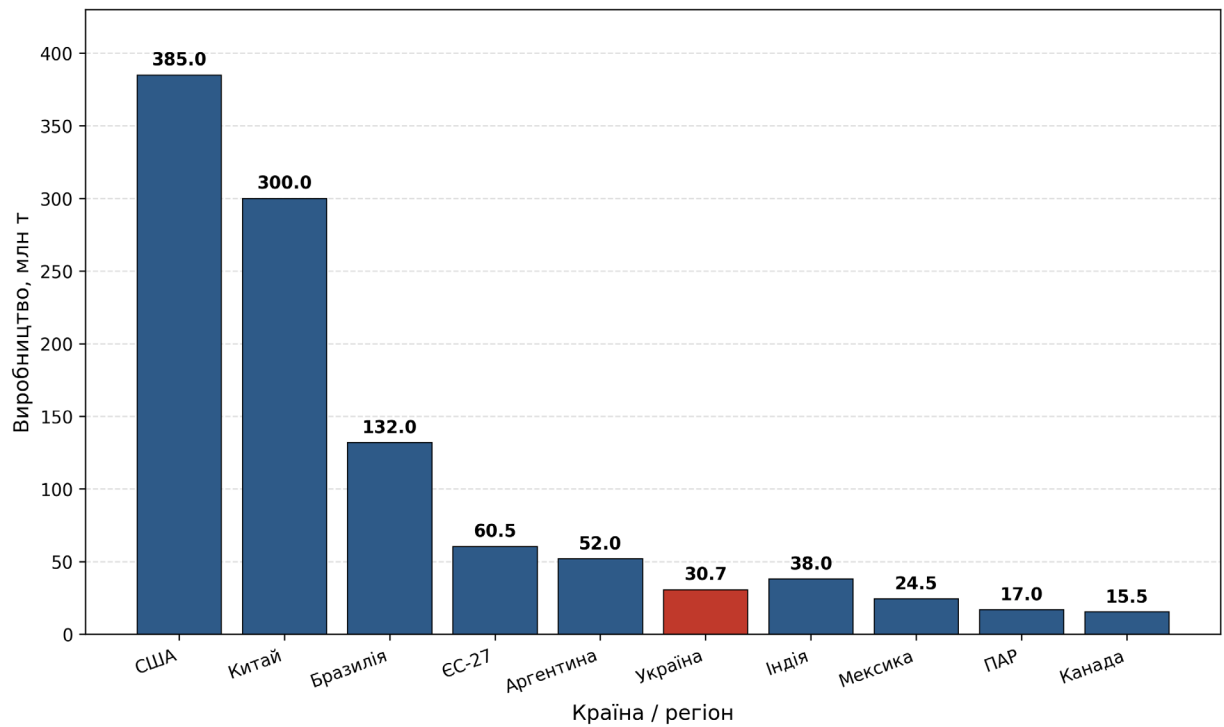


Рис. 1.1. Обсяги виробництва зерна кукурудзи за основними країнами та регіонами світу у 2025/26 МР, млн т (за даними USDA WASDE, березень 2026 р. [97])

Лідером світового виробництва традиційно залишаються США, частка яких у глобальному обсязі становить близько 30 % (385 млн т у 2025/26 МР). На другому місці перебуває Китай (близько 300 млн т), на третьому – Бразилія (132 млн т) [97; 136]. Україна виробляє приблизно 2,4 % світового зерна кукурудзи, проте за обсягами експорту посідає одну з провідних позицій (рис. 1.2), оскільки понад 70 % зібраного зерна постачається на зовнішні ринки. Така експортна орієнтація сприяє валютним надходженням, але одночасно зумовлює помітне відчуження елементів живлення з ґрунтів – ця проблема активно обговорюється у літературі, присвяченій довгостроковому збереженню родючості [58; 59].

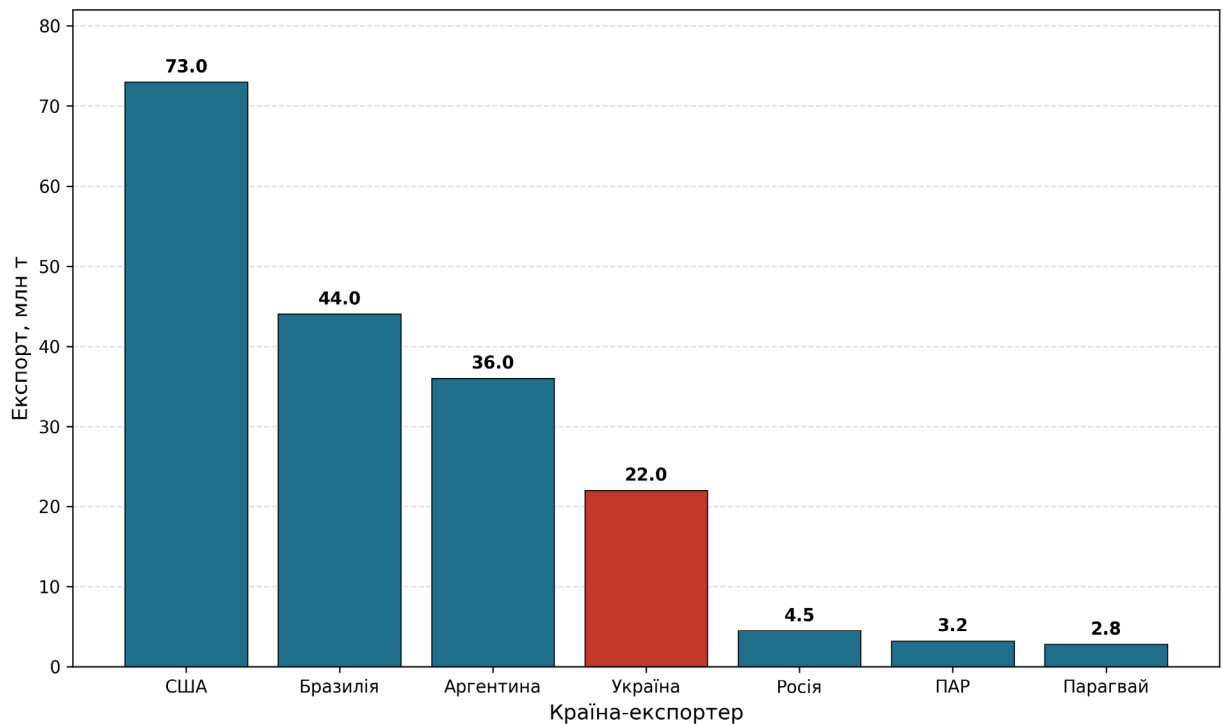


Рис. 1.2. Обсяги експорту зерна кукурудзи провідними країнами-експортерами у 2025/26 МР, млн т [97; 156]

Високий загальносвітовий попит на зерно кукурудзи зумовлений її універсальністю: вона використовується як продовольча та фуражна культура, а також як сировина для виробництва крохмалю, біопалива та комбікормів. За даними Erenstein et al., у структурі світового споживання частка кукурудзи на біопаливо (передусім етанол) сягає 12–14 %, причому в США цей показник перевищує 35 % внутрішнього використання [33]. На сучасному етапі прослідковується переорієнтація багатьох країн-виробників на внутрішнє споживання: так, Бразилія істотно нарощує внутрішню переробку зерна на етанол, а Аргентина зміцнює власні переробні потужності [97]. Найбільшими імпортерами кукурудзи у 2025/26 МР залишаються Мексика, ЄС, Японія, Південна Корея, Єгипет, В'єтнам та Філіппіни – у цих країнах попит зростає переважно за рахунок тваринництва й птахівництва [97; 33].

Україна, попри військовий стан, утримує позиції одного з ключових постачальників зерна на світовий ринок. У 2025 р. найбільші площі під кукурудзою сконцентровано у Полтавській (455,1 тис. га), Чернігівській (412,3

тис. га), Черкаській (345,9 тис. га), Сумській (328,2 тис. га) та Вінницькій (309,1 тис. га) областях, які формують так званий «кукурудзяний пояс» країни [136; 156]. Розподіл посівних площ за провідними областями подано на рис. 1.3. Завдяки рясним липневим опадам у Вінницькій, Полтавській, Київській, Хмельницькій, Черкаській та Житомирській областях у сезоні 2025 р. урожайність кукурудзи в окремих господарствах сягнула рекордних рівнів, що компенсувало нижчі показники по південних областях України, які постраждали від посухи [156].

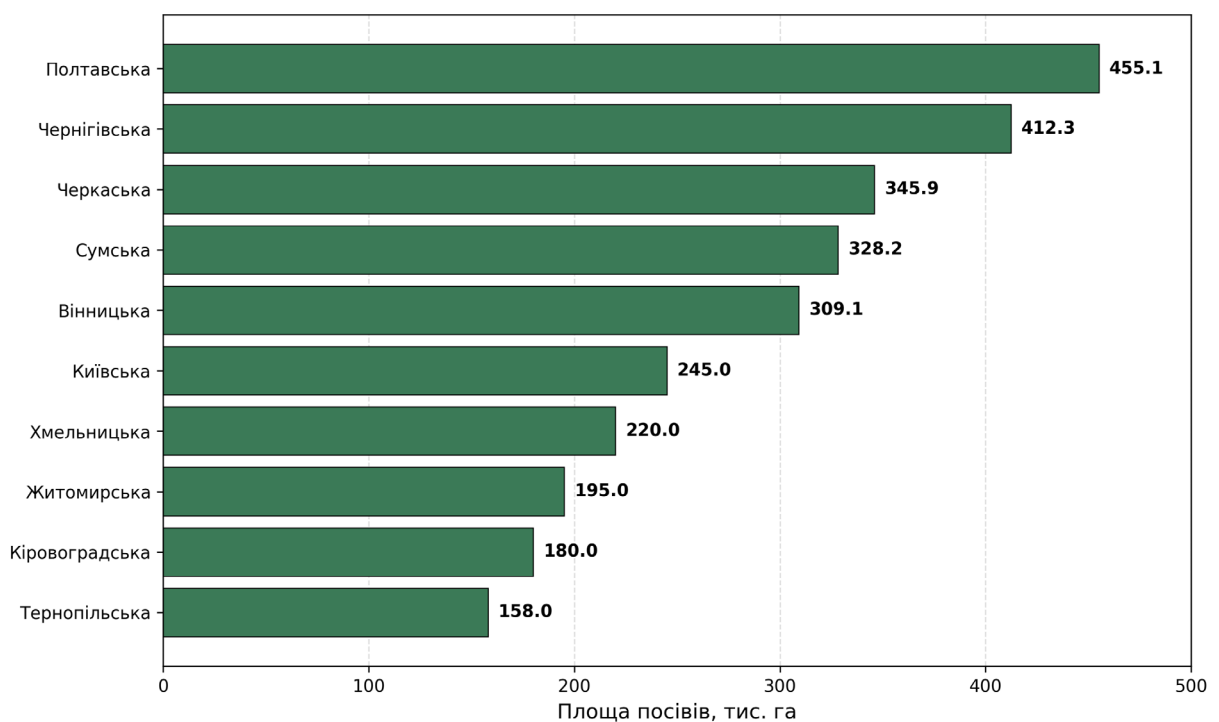


Рис. 1.3. Площі посівів кукурудзи за основними областями вирощування в Україні у 2025 р., тис. га [136; 156]

За біологічними особливостями кукурудза істотно відрізняється від поширених в Україні зернових культур, оскільки належить до рослин з С4-типом фотосинтезу. Така особливість метаболізму вуглецю забезпечує підвищену ефективність утилізації CO₂, кращу водовживаність та потенційно вищу продуктивність біомаси у тепловий період [83]. У сприятливих умовах

рослини кукурудзи здатні накопичувати в 1,5–2 рази більше сухої речовини за одиницю спожитої вологи порівняно з культурами СЗ-типу [45; 83].

Коренева система кукурудзи мичкувата, проникає на глибину до 1,5–2,0 м, проте основна її маса розташована в шарі ґрунту 30–60 см [65; 66; 70; 72]. Чим менше значення ФАО має гібрид, тим компактнішу кореневу систему він формує, відтак сильніше залежить від доступності елементів живлення та вологи у верхніх горизонтах ґрунту [12; 17; 135; 139]. Стебло кукурудзи пряме, заввишки від 70 см у ранньостиглих гібридів і до 4–5 м у пізньостиглих; на ньому формується від 8 до 40 лінійно-ланцетоподібних листків, що визначає площу листової поверхні та фотосинтетичний потенціал посіву [88; 94].

Ріст і розвиток кукурудзи розпочинаються за відносно високих температур повітря – не нижче 8–10 °С, а заморозки до –2 °С ушкоджують рослини на стадії проростків [53; 54; 55; 56]. За даними Sánchez et al., для повноцінного дозрівання зерна ранньостиглих гібридів потрібна сума активних температур близько 2200 °С, тоді як середньо- та пізньостиглі форми вимагають 2500–2900 °С [87]. Сходи кукурудзи з'являються через 15–17 діб за температури ґрунту 7–11 °С, але вже на 8–10-ту добу – за 12–15 °С. Мінімальна температура, за якої припиняється ріст, становить близько 10 °С, тоді як максимальна – 45–47 °С [87; 46].

У дослідженнях Lizaso et al. встановлено, що навіть нічна температура нижче 14 °С у поєднанні з високими денними значеннями істотно гальмує ростові процеси, подовжує період вегетації та призводить до пожовтіння листків у молодих рослин, що знижує фотосинтетичну активність на 20–30 % [63]. За температури повітря понад 32–35 °С порушується цвітіння і запліднення: стовпчики приймочок передчасно в'януть, а пилок втрачає здатність проростати, що зумовлює зростання частки порожньоохрєсних качанів [22; 46; 111; 112].

У зв'язку із кліматичною мінливістю в умовах Степу України можна вирощувати гібриди кукурудзи з ФАО 400–499, тоді як у Лісостепу доцільніше обмежуватися гібридами з ФАО 250–399 (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

**Характеристика агрокліматичних зон, необхідних для вирощування
кукурудзи в Україні**

Агрокліматична зона	Сума активних температур, °С	Тривалість періоду з $t > 10$ °С, діб	Сума опадів, мм
Степ	3000–3200	170–180	400–520
Лісостеп	2600–2750	155–165	540–640
Полісся	2400–2600	150–160	600–700

За відношенням до світла кукурудза є світлолюбною культурою, тому що С4-фотосинтез вимагає на 25–30 % інтенсивнішого сонячного випромінювання порівняно з С3-рослинами [83; 94]. Незважаючи на те, що на 1 га посіву кукурудза формує 30–70 тис. м² листкової поверхні, рослини негативно реагують як на надмірне зрідження посівів, так і на забур'яненість, оскільки в обох випадках погіршується радіаційний режим у ценозі [88; 62]. Оптимальна тривалість сонячного дня становить 12–14 годин, а під час цвітіння – близько 8–9 годин; навіть незначне затінення подовжує період вегетації та знижує продуктивність на 5–15 % [94; 105; 106; 107; 108; 109].

Витрати ґрунтової вологи на створення 1 кг сухої речовини у кукурудзи становлять 250–400 л залежно від умов вирощування, тоді як інші зернові потребують 600–800 л на той самий об'єм біомаси, що підкреслює відносно високу водовживаність С4-метаболізму [45; 83; 73]. Споживання вологи протягом вегетації нерівномірне: від появи сходів до фази 15-го листка рослини використовують лише 7–8 % сезонної потреби, а основний обсяг (60–73 %) припадає на період від викидання волоті до молочної стиглості зерна [73; 19].

За даними сучасних польових експериментів, нестача вологи в критичні фази (за 10–15 діб до викидання волоті – молочна стиглість) знижує врожайність на 30–50 %, причому на сучасних високопродуктивних гібридах

ця чутливість навіть зростає внаслідок інтенсивніших темпів накопичення біомаси [26; 84; 64]. Lobell et al. показали, що приріст урожайності в Кукурудзяному поясі США супроводжується підвищенням чутливості посівів до посушливих явищ, особливо в період цвітіння [64]. Ефективність використання ґрунтової вологи рослинами кукурудзи безпосередньо залежить від температурного режиму та елементів технології вирощування [29; 101; 102].

Кукурудза формує задовільні врожаї на широкому спектрі ґрунтів за умови оптимального удобрення, своєчасного обробітку та якісного догляду за посівами. Однак найбільш сприятливими є чорноземи, темно-каштанові, суглинисті та супіщані ґрунти за реакції ґрунтового розчину рН 5,5–7,0 [58]. Агрокліматичні умови Лісостепу України загалом відповідають вимогам кукурудзи, що зумовлює необхідність детального вивчення взаємодії «гібрид × технологія × погодні умови» в розрізі сучасних високопродуктивних гібридів [115; 142].

Попри значну пропозицію сучасних гібридів кукурудзи на українському ринку, у виробничій практиці елементам технології вирощування – зокрема, удобренню, передзбиральній густоті, способам передпосівної обробки насіння та оптимізації водного режиму – приділяється недостатньо уваги. Лише за високого рівня агротехніки досягається врожайність зерна кукурудзи 12–16 т/га з раціоналізацією економічних і ресурсних витрат [142; 178].

1.2. Ріст та розвиток сільськогосподарських культур за застосування вологоутримувача, стимуляторів та кріопротектора

Глобальні зміни клімату, які проявляються у зростанні температурної мінливості, частоті ґрунтових і повітряних посух та коливанні термінів настання заморозків, актуалізують пошук агротехнологічних рішень, що підвищують стійкість сільськогосподарських культур до абіотичних стресів. Серед таких рішень особливу увагу науковці приділяють трьом групам

препаратів – вологоутримувачам (суперабсорбентним полімерам, гідрогелям), стимуляторам росту (біостимулянтам) та кріопротекторам (антифризним агентам й осмопротекторам), які діють комплексно: підтримують доступність вологи у ризосфері, активують ростові процеси та мінімізують пошкодження клітинних мембран за низьких або високих температур [110; 20; 30; 47].

Вологоутримувачі, або суперабсорбентні полімери (SAP), – це гідрофільні гелеподібні матеріали з тривимірною мережею поперечно-зшитих ланцюгів, які здатні поглинати воду в обсязі, що в десятки і сотні разів перевищує їхню сухомасу, і поступово вивільняти її в ґрунтовий розчин у міру зростання сольового потенціалу [110; 86; 100]. Класично SAP виготовляються на основі акрилової кислоти та поліакриламід, проте останніми роками інтенсивно розвиваються біополімерні версії – на базі целюлози, лігніну, крохмалю, альгінатів і навіть побічних продуктів аграрної переробки [68; 100; 79].

У глобальному метааналізі Zheng et al., виконаному на базі понад 80 польових експериментів, продемонстровано, що внесення SAP у середньому забезпечує приріст урожайності культур на 12,8 %, а ефективність використання води зростає на 17,2 % [110]. У дослідженні Mazloom et al. на кукурудзі виявлено, що внесення лігнінового гідрогелю в дозі 0,4 % від маси ґрунту збільшує доступність вологи в кореневмісному шарі, знижує водний стрес рослин і підвищує засвоєння фосфору пагонами на 18–25 %; при цьому, на відміну від синтетичних аналогів, лігніновий полімер не вивільняв іони натрію та не зумовлював підлушення ґрунту [68]. Польові експерименти Rajanna et al. на системі «soя–пшениця» в Індо-Гангській рівнині показали, що біополімерні гідрогелі підвищують продуктивність культур на 9–15 % і водовикористання – на 14–22 % [79].

Особливий інтерес становлять дослідження впливу SAP на ранні етапи розвитку кукурудзи. Abdolmaleki et al. в експерименті з трьома типами полімерних покриттів насіння (двома синтетичними та одним природним) показали, що застосування MERCK-полімеру забезпечило найвищу частку

нормально розвинених проростків і найнижчу – аномальних, тоді як SWT-полімер виявив фітотоксичну дію [1]. Інтегрований транскриптомний аналіз (mRNA-seq) виявив, що покриття насіння суперабсорбентом впливає на експресію генів, відповідальних за обмін фітогормонів, осморегуляцію та антиоксидантний захист, формуючи молекулярну основу підвищеної стійкості до посухи на стадії проростання [1]. Ці дані узгоджуються з висновками систематичного огляду Wu et al., де гідрогелі позиціюються як одночасно «резервуар води» і «резервуар поживних елементів», що подовжує період доступності NPK для рослин [100].

У дослідженнях Satriani et al. на квасолі за умов дефіцитного зрошення в Південній Італії застосування гідрогелю в дозі 30–60 кг/га забезпечило підвищення водопродуктивності на 17 %, а врожаю – на 14 %, причому максимальний ефект спостерігався за середнього (50 % від оптимуму) рівня поливних норм [89]. Подібні закономірності встановлено для пшениці на засолено-лужних ґрунтах: модифікований соломою вологоутримуючий агент підвищував активність антиоксидантних ферментів у прапорцевому листку та збільшував урожайність на 11–13 % [104]. Це підтверджує універсальність дії суперабсорбентів та їхню перспективність для умов нестабільного зволоження Лісостепу України.

Поряд із вологоутримувачами на ринку засобів керування продукційним процесом активно розвиваються біостимулянти – препарати, що модулюють фізіологічні процеси рослини незалежно від вмісту в них макроелементів живлення. Згідно з визначенням du Jardin, до основних категорій біостимулянтів належать гумінові й фульвові кислоти, протеїнові гідролізати та амінокислотні комплекси, екстракти морських водоростей, хітозан, а також корисні мікроорганізми (PGPR, мікоризні гриби) [30]. Польові дослідження Salvo et al. підтверджують, що біостимулянти забезпечують стабільний приріст урожайності 6–15 % за рахунок активації первинних метаболічних шляхів, поліпшення засвоєння елементів живлення з ґрунту та підвищення абіотичної стресостійкості [20].

Izquierdo et al. у масштабному 10-річному польовому експерименті (448 фермерських дослідів у Уругваї, 2014–2024 рр.) показали, що одноразова позакоренева обробка гуміновим біостимулянтном у критичних фазах росту забезпечує середній приріст урожайності кукурудзи на 15,7 % та позитивну економічну рентабельність на товарних посівах [51]. Olaetxea et al. розкрили молекулярні механізми дії гумінових речовин: вони стимулюють активність Н⁺-АТФаз плазмалеми коренів, посилюють поглинання нітратів, активують біосинтез ауксинів і цитокінінів, що зумовлює системне поліпшення росту й розвитку рослин [74]. Halpern et al. у комплексному огляді підкреслюють, що гумінові й фульвові кислоти можуть стимулювати загальну біомасу пагонів кукурудзи на 28–40 % після дворазової позакореневої обробки [42].

У роботі El Sayed et al. встановлено, що сумісне застосування гумінової кислоти та амінокислотних комплексів дає змогу часткового заміщення мінеральних добрив на 25–50 % за збереження продуктивності кукурудзи на рівні повної норми NPK; ефективність дії убуває в порядку «суміш НА + АА > АА > НА > вода» [32]. Shi et al. розглянули взаємодію між кореневим транскриптомом кукурудзи та мікробіомом ризосфери за дії біостимулянтів і виявили, що такі препарати модулюють експресію генів азотного й фосфорного обміну, одночасно стимулюючи розвиток корисних мікроорганізмів – PGPR *Bacillus* та *Pseudomonas* [91].

Третя ключова група препаратів – кріопротектори та осмопротектори, що знижують ризики пошкодження рослин за впливу низьких позитивних і короткочасних від'ємних температур, особливо в період сходів – фази 3–5 листків. Молекулярну основу кріопротекторного ефекту складають накопичення сумісних осмолітів – проліну, гліцинбетаїну, поліамінів, цукрів, які знижують точку замерзання клітинного соку, стабілізують білки й мембрани та зменшують утворення внутрішньоклітинного льоду [47; 5; 82]. Nayat et al. встановили, що екзогенне застосування проліну в концентрації 25–50 мМ забезпечує підвищення стійкості рослин до сольового, посушливого і холодного стресів через активацію антиоксидантної системи [47]. Ashraf і

Foolad систематизували докази про те, що гліцинбетаїн (GB) є одним з найефективніших осмопротекторів у культурі кукурудзи: екзогенна обробка GB у концентраціях 5–30 мМ знижує концентрацію малонового діальдегіду, активує SOD, POD і CAT та зменшує наслідки оксидативного стресу [5].

Особливо переконливими є експериментальні дані Gai et al., які вивчали холодотолерантні (Heyu27) та чутливі (Dunyu213) гібриди кукурудзи в умовах температурного праймінгу. Дворазовий цикл «низькотемпературне праймування – холодострес» забезпечив активацію ферментів синтезу проліну (P5CS, P5CR) та інгібування проліндегідрогенази (ProDH), що супроводжувалося накопиченням проліну, координованою перебудовою азотного обміну (зокрема ферментів GDH/ICDH), пом'якшенням інгібування фотосинтезу та збереженням біомаси на рівні 92–95 % контролю [37]. Це доводить, що активація системи «пролін–азот» є ключовим механізмом адаптації кукурудзи до короточасних заморозків і ранніх весняних похолодань [92; 93; 96].

Ritonga і Chen наголошують, що низькотемпературний стрес індукує комплексну сигнальну каскад-реакцію за участю Ca^{2+} , активних форм кисню (ROS), фосфорилазних каскадів MAPK та CBF/DREB-транскрипційних факторів, що активують експресію COR-генів [82]. Стимулятори і кріопротектори можуть посилювати ці природні реакції рослини, формуючи підвищений рівень холодостійкості без втрат продуктивності. Sharma et al. показали, що екзогенне застосування фітогормонів, зокрема брасиностероїдів та саліцилової кислоти, в концентрації 10^{-6} – 10^{-5} М стабілізує мембрани, підвищує активність антиоксидантних ферментів і поліпшує здатність до акліматизації [90; 50].

У вітчизняній практиці одним із поширених полікомпонентних препаратів, що поєднує функції стимулятора, адаптогена, кріопротектора та антистресанта, є біостимулянти на основі полігідроксикарбонових кислот і полісахаридів. У літературі повідомляється, що подібні препарати підвищують вміст цукрів і крохмалю в рослинах на 30–40 %, чим знижують

точку замерзання клітинного соку на 3–5 °С та сприяють кращому виживанню рослин після короткочасних заморозків. Одночасно вони стимулюють енергію проростання насіння на 5–8 %, що особливо важливо за ранніх строків сівби кукурудзи в Лісостепу України [90; 52].

Узагальнення результатів сучасних досліджень свідчить, що інтегроване застосування вологоутримувачів, біостимулянтів і кріопротекторів є перспективним напрямом адаптивної агротехнології кукурудзи у Лісостеповій зоні. Такі рішення стабілізують вологозабезпеченість у критичні фази росту, підвищують ефективність використання поживних елементів і знижують ризики, пов'язані з весняними похолоданнями та літніми посухами. Подальше деталізоване вивчення доз і термінів застосування цих препаратів стосовно сучасних гібридів вітчизняної та зарубіжної селекції становить пріоритетне наукове завдання.

1.3. Адаптивний потенціал гібридів кукурудзи

Підбір гібриду залишається одним із вирішальних факторів отримання стабільно високих урожаїв зерна кукурудзи. У сучасних умовах, коли мінливість погоди стає правилом, а не винятком, особливого значення набуває не лише потенціал продуктивності, але й здатність гібридів зберігати ефективність на широкому спектрі агроекологічних умов – тобто їхній адаптивний потенціал [25; 64; 95].

Український ринок насіння кукурудзи характеризується значним різноманіттям пропозицій. Згідно з Державним реєстром сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2024 р., до Реєстру внесено понад 1400 гібридів вітчизняної та закордонної селекції, які належать до груп стиглості з ФАО від 150 до 600 [137]. Класифікація гібридів за тривалістю вегетаційного періоду включає такі групи: ранньостиглі (90–100 діб, ФАО 100–200), середньоранні (105–115 діб, ФАО 201–300), середньостиглі (115–120 діб, ФАО

301–400), середньопізні (120–130 діб, ФАО 401–500) та пізньостиглі (135–140 діб, ФАО 501–600)[92; 93; 137; 142].

Сучасні гібриди кукурудзи демонструють позитивну реакцію на підвищення рівня агротехніки (обробіток ґрунту, удобрення, інтегрований захист) і водночас стійкість до низки негативних факторів – посухи, низької атмосферної вологи, високих температур, суховіїв [142; 25; 67]. Гібриди з ФАО 200–500 в умовах Лісостепу та Степу здатні формувати продуктивність 12–14 т/га зерна за збиральної вологості 12–14 %; на півночі центрального Лісостепу при вирощуванні гібридів провідних світових компаній зерно кукурудзи реалізує потенціал на рівні 10,0–11,5 т/га [142; 116]. Випробування гібридів селекції KWS у сезоні 2024 р. на території України показали, що в групі середньопізніх (ФАО 300–380) різниця між найближчими у рейтингу гібридами становила понад 1 т/га, що ще раз підтверджує важливість точкового підбору гібриду під конкретні умови господарства [69; 85].

Адаптивний потенціал рослин – це інтегральна характеристика, що відображає взаємодію модифікаційної та генотипової мінливості, тобто здатність генотипу зберігати продуктивність та якість продукції за змінних факторів середовища [31; 103; 95]. Класичний підхід до оцінки стабільності та пластичності генотипів розроблений Eberhart і Russell, які запропонували розраховувати коефіцієнт регресії врожайності на середовище (b_i) та середнє квадратичне відхилення регресії (S^2d) [31]. Сучасним розвитком цього підходу є GGE-біплат-аналіз Yan і Tinker, що дає змогу одночасно оцінювати головний ефект генотипу та взаємодію «генотип × середовище», ідентифікуючи стабільні високопродуктивні форми у багатосередовищних випробуваннях [70; 71; 72; 103].

Для отримання стабільної продуктивності особливе значення мають гібриди, які поєднують високий рівень урожайності з відносно низькою збиральною вологістю зерна та широкою екологічною пластичністю [142; 25; 95]. За результатами багаторічних досліджень Інституту зрошуваного землеробства НААН та інших установ, гібриди з ФАО до 380–400 одиниць

характеризуються вищою стабільністю врожайності, тоді як гібриди з ФАО понад 450 різко знижують продуктивність за відхилень від оптимуму погодних умов [142; 116]. Зокрема, Marchenko et al. встановили, що в умовах нестабільного зрощення гібриди середньої групи стиглості реалізують потенціал на 85–92 %, тоді як середньопізні форми – лише на 70–78 % [67; 80; 81].

Полеві дослідження Інституту сільського господарства степової зони НААН свідчать, що зростання процентного вмісту крохмалю та валового збору крохмалю з гектара було найкращим у гібридів групи стиглості ФАО 300–400 [178]. Petriczenko і Tomashuk, аналізуючи якість зерна кукурудзи в Правобережному Лісостепу, продемонстрували, що оптимальне поєднання вмісту білка, крохмалю та олії формується саме в межах ФАО 270–360 за умови дотримання повної агротехніки [77].

Mihai et al. в Румунії випробували 50 гібридів, отриманих схрещуванням 5 високопродуктивних і 10 каротиноїдних інбредних ліній, у несприятливих кліматичних умовах 2022–2023 рр. і виявили, що серед усього набору лише 8–10 % гібридів демонструють одночасно високу продуктивність, стресостійкість і якість зерна – це підкреслює селекційну цінність комплексних оцінок [69; 75; 76]. Концепція «pursue stability without sacrificing yield» (досягати стабільності без жертв продуктивності) набула розвитку у роботах Cooper et al. та Adee et al., які експериментально підтвердили, що сучасні посухостійкі гібриди дають вищу врожайність у стресових середовищах без зменшення потенціалу в оптимальних умовах [25; 2].

Особливо цінними є нещодавні висновки Kumar et al. про те, що завдяки селекційному прогресу 2000–2020 рр. чутливість кукурудзи Кукурудзяного поясу США до посухи знизилася приблизно на 17,8 %; до 2100 р. за умови подальшого розвитку селекції очікується ще одне суттєве зниження чутливості до водного стресу, що відкриває реальний шлях до сталого виробництва за прогнозованого потепління клімату [57]. Ці результати корелюють з висновками Lobell et al. про підвищену чутливість сучасних

гібридів до посухи саме в період цвітіння – періоді, який є чи не найважливішим для стабілізації структури врожаю [64]. Annicchiarico узагальнив, що ефективна селекція в умовах $G \times E$ взаємодії можлива лише за використання багатосередовищних випробувань (METs) і відповідних статистичних моделей (AMMI, GGE) [4].

Згідно з результатами численних польових досліджень, оптимальна структура гібридного складу посівів кукурудзи в умовах Лісостепу України передбачає таке співвідношення груп стиглості: ранньостиглі – до 10 %, середньоранні – 25–30 %, середньостиглі – 45–50 %, середньопізні – 10–15 %, пізньостиглі – не більше 5 % [142; 178; 144]. Така диверсифікація мінімізує ризики, пов'язані з мінливістю погодних умов, рівномірно розподіляє пікові навантаження на збиральну техніку та підвищує загальну економічну стійкість господарства [144; 67]. Попит сучасних аграріїв формується переважно на гібриди з ФАО 200–390, які поєднують потенціал понад 10 т/га, короткий період вегетації (100–110 діб), невибагливість до агрофону і низьку збиральну вологість зерна, що дозволяє відмовитися від енергоємного досушування [142; 69; 67].

Таким чином, вивчення сучасних гібридів кукурудзи в конкретних агроекологічних умовах і встановлення особливостей прояву їхньої генотипової та екологічної пластичності становить важливе наукове завдання, виконання якого дозволить виробити обґрунтовані рекомендації щодо поширення нових гібридів та оптимізації елементів технології їх вирощування [163; 165; 166]. Підвищення адаптивного потенціалу гібридів спроможне забезпечити збільшення щорічних зборів зерна на 10–15 % навіть без істотних змін у системах удобрення та обробітку ґрунту [25; 57; 2; 67].

Висновки до розділу 1

1. Кукурудза є провідною зерновою культурою світу із прогнозованим виробництвом близько 1297 млн т у 2025/26 МР; Україна, виробляючи 30,7

млн т, входить до десятки найбільших виробників та залишається одним із ключових експортерів – близько 22 млн т зерна щорічно. Найбільші площі посівів зосереджено у Полтавській, Чернігівській, Черкаській, Сумській і Вінницькій областях, що формують «кукурудзяний пояс» України.

2. Біологічні особливості кукурудзи (C4-фотосинтез, потужна, але переважно поверхнева коренева система, висока чутливість до низьких і екстремально високих температур, нерівномірне споживання вологи з пиком у фазі викидання волоті – молочної стиглості) визначають високу залежність продуктивності від кліматичних умов і елементів технології. У зв'язку з кліматичною мінливістю в умовах Лісостепу України оптимальним є вирощування гібридів кукурудзи з ФАО 250–399.

3. Сучасна наукова література переконливо демонструє ефективність застосування суперабсорбентних полімерів (вологоутримувачів) як засобу стабілізації водного режиму ґрунту: глобальний метааналіз показав середній приріст урожайності 12,8 % і ефективності використання води – 17,2 %. Біостимулянти на основі гумінових і фульвових кислот, амінокислот та морських екстрактів забезпечують 6–16 % приросту врожайності кукурудзи через активацію азотного й фосфорного обміну та посилення абіотичної стресостійкості. Кріопротектори та осмопротектори (пролін, гліцинбетаїн, полігідроксикарбонові кислоти) знижують точку замерзання клітинного соку на 3–5 °С, активують антиоксидантну систему й підвищують виживаність рослин після короткочасних заморозків.

4. Адаптивний потенціал гібриду визначає реалізацію його генетично обумовленої продуктивності в конкретних умовах вирощування. Сучасні селекційні досягнення США свідчать про зниження чутливості гібридів до посухи на 17,8 % за останні 20 років; разом з тим оптимальною структурою посівів в умовах Лісостепу України залишається диверсифікований підбір гібридів з різних груп стиглості, що мінімізує ризики, пов'язані з кліматичною мінливістю.

5. Опрацьовані літературні джерела свідчать про необхідність комплексного експериментального дослідження впливу вологоутримувача та кріопротектора на ріст, розвиток і продуктивність сучасних гібридів кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України з метою розроблення наукових засад адаптивної технології, придатної до сучасних кліматичних викликів.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Ґрунтово-кліматичні умови зони проведення досліджень

Досліди проводилися проводяться впродовж 2023-2025 років в умовах Правобережного Лісостепу, Черкаська область, Смілянський р-н, господарство групи Агро-Рось-Інвест.

За даними метеостанції, середньорічна температура повітря становить +7⁰С з відхиленнями за окремими роками від 5 до 8⁰С. Максимальна температура літніх місяців сягає 37–39⁰С, а мінімальна температура зимових місяців становить –26⁰С. Сума позитивних температур вище 10⁰С коливається у межах 2650–2660⁰С. Відносна вологість повітря за рік становить у середньому 77 %; у літній період вона зменшується до 50 %, а взимку підвищується до 85 %.

Несприятливими для росту й розвитку рослин є літні суховії; вони призводять до суттєвого зниження їх урожайності. Тривалість суховіїв за період квітень–вересень становить у середньому 8–17 днів; найбільша імовірність їх виникнення в окремі роки сягає 67 %.

Для ранньої сівби кукурудзи шкодять весняні заморозки. Останні весняні заморозки спостерігаються приблизно 26–28 квітня, а у деякі роки весняні приморозки припиняються раніше 12.04, або дещо пізніше 13.05. Як наслідок, тривалість безморозного періоду коливається у межах 137–198 днів; середня ж багаторічна тривалість цього періоду становить біля 160 днів.

Середньорічна сума опадів у регіоні становить 538 мм; в окремі роки вона коливається у межах від 350 до 850 мм. Протягом вегетації умови зволоження в регіоні нестійкі. Сума опадів, що випадають у період з температурою повітря вище 10⁰С, становить в середньому 316 мм. Розподіляються опади протягом року досить нерівномірно: найбільше їх випадає у теплий період року, коли переважно дують вологі північно-західні

вітри, а найменше – у зимовий період. Протягом весняних місяців кількість опадів становить 129 мм, а літніх 201 мм. Протягом осені кількість опадів становить 120 мм.

2.2. Характеристика ґрунту дослідних ділянок

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем типовий вилугуваний, середньоглибокий, малогумусний, грубопилювато-легкосуглинковий на карбонатному лесі. Орний шар ґрунту має вміст крупного піску 48,9–59,3 %, фізичної глини – 31,2–32,4 %, мулу – 19,3–23,7 % і піску – 9,7–18,9 %.

За агрохімічною характеристикою, ґрунт містить гумусу (за методом Тюріна і Конової) 3,4 %, азоту, що легко гідролізується (за методом Корнфільда) – 92–119, рухомих сполук фосфору і калію (за методом Чирикова) – відповідно 128–157 і 119–132 мг/кг ґрунту. Ґрунт має середню здатність нітрифікації – 2,1–3,4 мг/100 г абсолютно сухого ґрунту.

Глибина гумусового горизонту 54–67 см, карбонати Ca і Mg залягають на глибині 55–75 см. Гідролітична кислотність (за методом Капена) становить 16–19 мг-екв./кг ґрунту. Реакція ґрунтового розчину – близька до нейтральної – pH_{KL} 6,6–7,0. Ємність поглинання ґрунту – 240–270 мг-екв./кг. Серед обмінних катіонів головна роль належить кальцію, вміст якого становить 166–219 мг-екв. на кг ґрунту. Вміст магнію становить всього 24–40 мг-екв./кг ґрунту.

У цілому ґрунт господарства за своїми водно-фізичними властивостями і агрохімічною характеристикою придатний для вирощування високих і стабільних урожаїв кукурудзи.

2.3. Погодні умови в роки досліджень

Протягом першої декади квітня 2023 року спостерігалась тепла з невеликими опадами погода. Середня декадна температура повітря на 4,6°C

вище багаторічної, а в порівнянні з аналогічною декадою минулого року нижча на $1,1^{\circ}\text{C}$. Опадів за декаду випало 11,2 мм, що складає 79 % норми (таблиця 2.1).

Запаси продуктивної вологи в ґрунті добрі. Протягом декади проводились роботи по підготовці ґрунту до сівби та сівба ярих культур. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур добрі.

Протягом другої декади квітня спостерігалась прохолодна з опадами погода. Середня декадна температура повітря на $0,3^{\circ}\text{C}$ нижча багаторічної, а в порівнянні з аналогічною декадою минулого року нижча на $6,1^{\circ}\text{C}$. Опадів за декаду випало 11,5 мм, що складає 71 % норми.

Запаси продуктивної вологи в ґрунті добрі. Протягом декади проводились роботи по підготовці ґрунту до сівби та сівба сільськогосподарських культур. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур задовільні.

Протягом третьої декади квітня спостерігалась прохолодна без опадів погода. Середня декадна температура повітря на $1,4^{\circ}\text{C}$ вища багаторічної, а в порівнянні з аналогічною декадою минулого року вища на $1,0^{\circ}\text{C}$. Опадів за декаду випало 0,0 мм, що складає 0 % норми.

Запаси продуктивної вологи в ґрунті добрі. Протягом декади проводились роботи по підготовці ґрунту до сівби та сівба сільськогосподарських культур. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур задовільні (таблиця 2.1).

Протягом першої декади травня спостерігалась прохолодна з невеликими опадами погода. Середня декадна температура повітря на $0,2^{\circ}\text{C}$ вища багаторічної, та співпадає з аналогічною декадою минулого року. Опадів за декаду випало 9.5 мм, що складає 63 % норми.

Запаси продуктивної вологи в ґрунті добрі. Протягом декади проводились роботи по підготовці ґрунту до сівби та сівба сільськогосподарських культур. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур задовільні.

Таблиця 2.1

Погодні умови вегетаційного періоду 2023 року

Місяць / декада		Середньодобова температура повітря, °С			Сума опадів, мм		
		поточного року	середня багаторічна	± до норми	поточного року	± до норми	середня багаторічна
квітень	I	11,6	6,0	+5,6	11,2	12,0	-0,8
	II	7,5	9,0	-1,5	11,5	14,0	-2,5
	III	11,8	12,0	-0,2	0,0	18,0	-18,0
	середня	10,3	9,0	+1,3	22,7	44,0	-21,3
травень	I	13,5	14,5	-1,0	9,5	13,0	-3,5
	II	12,8	16,0	-3,2	16,9	19,0	-2,1
	III	18,2	17,5	+0,7	16,5	29,0	-12,5
	середня	14,9	16,0	-1,1	42,9	61,0	-18,1
червень	I	18,8	18,7	+0,1	1,1	14,0	-12,9
	II	18,8	20,2	-1,4	6,6	18,0	-11,4
	III	21,6	20,3	+1,3	11,1	25,0	-13,9
	середня	19,7	19,7	0,0	18,8	57,0	-38,2
липень	I	19,0	21,0	-2,0	3,3	21,0	-17,7
	II	20,0	21,7	-1,7	37,2	20,0	+17,2
	III	21,9	22,4	-0,5	42,5	20,0	+22,5
	середня	20,3	21,7	-1,4	83,0	61,0	+22,0
серпень	I	23,9	22,1	+1,8	9,0	11,0	-2,0
	II	24,6	21,1	+3,5	0,0	12,0	-12,0
	III	17,2	19,2	-2,0	7,0	19,0	-12,0
	середня	21,7	20,8	+0,9	16,0	42,0	-26,0
вересень	I	16,6	17,0	-0,4	18,8	13,0	+5,8
	II	18,9	15,0	+3,9	8,4	12,0	-3,6
	III	13,3	14,0	-0,7	6,0	11,0	-5,0
	середня	16,3	15,3	+1,0	33,2	36,0	-2,8

Протягом другої декади травня спостерігалась прохолодна з невеликими опадами погода. Середня декадна температура повітря на $2,5^{\circ}\text{C}$ нижче багаторічної, а в порівнянні з аналогічною декадою минулого року нижче на $0,1^{\circ}\text{C}$. Опадів за декаду випало $16,9$ мм, що складає 142% норми.

Запаси продуктивної вологи в ґрунті добрі. Протягом декади проводились роботи по обробці посівів сільськогосподарських культур гербіцидами з метою боротьби з бур'янами. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур задовільні.

Протягом третьої декади травня спостерігалась тепла з невеликими опадами погода. Середня декадна температура повітря на $2,4^{\circ}\text{C}$ вище багаторічної, а в порівнянні з аналогічною декадою минулого року вище на $0,8^{\circ}\text{C}$. Опадів за декаду випало $16,5$ мм, що складає 94% норми.

Запаси продуктивної вологи в ґрунті добрі. Протягом декади проводились роботи по боротьбі з бур'янами та хворобами сільськогосподарських культур. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур добрі.

Протягом першої декади червня спостерігалась тепла, суха та вітряна погода. Середня декадна температура повітря на $1,5^{\circ}\text{C}$ вище багаторічної, а в порівнянні з аналогічною декадою минулого року вище на $2,7^{\circ}\text{C}$. Опадів за декаду випало $1,1$ мм, що складає 4% норми.

Запаси продуктивної вологи в ґрунті знизилися. Протягом декади проводились роботи по боротьбі зі шкідниками сільськогосподарських культур. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур задовільні.

Протягом другої декади червня спостерігалась тепла, суха та вітряна погода. Середня декадна температура повітря на $1,4^{\circ}\text{C}$ вище багаторічної, а в порівнянні з аналогічною декадою минулого року нижче на $0,6^{\circ}\text{C}$. Опадів за декаду випало $6,6$ мм, що складає 26% норми.

Запаси продуктивної вологи в ґрунті знизилися. Протягом декади проводились роботи по боротьбі з бур'янами та обробка

сільськогосподарських культур регуляторами росту. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур задовільні.

Протягом третьої декади червня спостерігалась тепла, з невеликими дощами погода. Середня декадна температура повітря на $2,9^{\circ}\text{C}$ вище багаторічної, а в порівнянні з аналогічною декадою минулого року нижче на $2,4^{\circ}\text{C}$. Опадів за декаду випало 11,1 мм, що складає 48 % норми.

Запаси продуктивної вологи в ґрунті дуже низькі. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур задовільні

Протягом першої декади липня спостерігалась тепла, суха погода. Середня декадна температура повітря на $0,5^{\circ}\text{C}$ вище багаторічної, а в порівнянні з аналогічною декадою минулого року нижче на $0,9^{\circ}\text{C}$. Опадів за декаду випало 3,3 мм, що складає 9 % норми.

Запаси продуктивної вологи в ґрунті дуже низькі. У кукурудзи в денні години спостерігається втрата тургору, у соняшнику нижні листки побуріли та засохли. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур незадовільні.

Протягом другої декади липня спостерігалась тепла, з опадами погода. Середня декадна температура повітря на $0,6^{\circ}\text{C}$ вище багаторічної, а в порівнянні з аналогічною декадою минулого року нижче на $3,0^{\circ}\text{C}$. Опадів за декаду випало 37,2 мм, що складає 154 % норми.

Запаси продуктивної вологи в верхньому шарі ґрунту збільшилися, але в цілому залишались низькими. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур задовільні.

Протягом третьої декади липня спостерігалась тепла, з опадами погода. Середня декадна температура повітря на $2,8^{\circ}\text{C}$ вище багаторічної, та дорівнює аналогічній декаді минулого року. Опадів за декаду випало 42,5 мм, що складає 165 % норми.

Запаси продуктивної вологи в верхньому шарі ґрунту збільшилися, але загалом залишались низькими. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур після дощів покращилися.

Протягом першої декади серпня спостерігалась жарка, з невеликими опадами погода. Середня декадна температура повітря на $4,2^{\circ}\text{C}$ вище багаторічної, а в порівнянні з аналогічною декадою минулого року вище на $1,9^{\circ}\text{C}$. Опадів за декаду випало $9,0$ мм, що складає 56% норми.

Запаси продуктивної вологи залишаються дуже низькими. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур задовільні.

Протягом другої декади серпня спостерігалась жарка, без опадів погода. Середня декадна температура повітря на $6,0^{\circ}\text{C}$ вище багаторічної, а в порівнянні з аналогічною декадою минулого року вище на $6,7^{\circ}\text{C}$. Опадів протягом декади не було.

Запаси продуктивної вологи залишаються дуже низькими. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур не задовільні.

Протягом третьої декади серпня спостерігалась помірно тепла, з невеликими опадами погода. Середня декадна температура повітря на $0,2^{\circ}\text{C}$ вище багаторічної, а в порівнянні з аналогічною декадою минулого року нижче на $3,9^{\circ}\text{C}$. Опадів протягом декади випало $7,0$ мм, що складає 37% норми.

Запаси продуктивної вологи залишаються дуже низькими. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур не задовільні.

Протягом першої декади вересня спостерігалась помірно тепла з опадами погода. Середня декадна температура повітря на $0,6^{\circ}\text{C}$ вище багаторічної, а в порівнянні з аналогічною декадою минулого року нижче на $3,0^{\circ}\text{C}$. Опадів протягом декади випало $18,8$ мм, що складає 146% норми.

Запаси продуктивної вологи у ґрунті збільшились. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур задовільні.

Протягом другої декади вересня спостерігалась тепла з невеликими опадами погода. Середня декадна температура повітря на $5,2^{\circ}$ вища багаторічної, а в порівнянні з аналогічною декадою минулого року вища на $3,4^{\circ}$. Опадів протягом декади випало $8,4$ мм, що складає 73% норми. Запаси

продуктивної вологи у ґрунті зменшились. Умови росту та розвитку сільгосп культур задовільні.

Протягом третьої декади вересня спостерігалась тепла з невеликими опадами погода. Середня декадна температура повітря на $1,5^{\circ}\text{C}$ вища багаторічної, а в порівнянні з аналогічною декадою минулого року вища на $2,0^{\circ}\text{C}$. Опадів протягом декади випало $6,0$ мм, що складає 55% норми. Запаси продуктивної вологи у ґрунті збільшились, але залишаються низькими. Умови росту та розвитку сільськогосподарських культур задовільні.

Протягом першої декади квітня 2024 року спостерігалась прохолодна, з опадами погода. Середня декадна температура повітря була на $3,0^{\circ}\text{C}$ вищою за багаторічну норму, а кількість опадів становила $14,0$ мм, що на 2 мм більше норми. Запаси продуктивної вологи в ґрунті після зимового періоду залишалися високими, умови для початку весняної вегетації культур – сприятливі (таблиця 2.2).

У другу декаду квітня погодні умови були теплі та дощові. Середня температура повітря перевищувала багаторічну норму на $4,0^{\circ}\text{C}$, а кількість опадів становила $18,0$ мм, що на $4,0$ мм більше норми. Помірні дощі забезпечували достатнє зволоження посівного шару ґрунту.

Протягом третьої декади квітня утримувалась тепла погода з інтенсивними дощами. Середня декадна температура була на $4,0^{\circ}\text{C}$ вище норми, а опадів випало $32,0$ мм (що на 14 мм більше норми). Фонове зволоження ґрунту суттєво зросло, створюючи оптимальні умови для розвитку ранніх ярих культур та озимини.

У першій декаді травня спостерігалась помірно тепла та суха погода. Середня температура повітря була близькою до норми ($-0,5^{\circ}\text{C}$), а кількість опадів становила лише $2,0$ мм, що на 11 мм менше норми. Запаси продуктивної вологи почали зменшуватися, але залишалися достатніми.

Таблиця 2.2

Погодні умови вегетаційного періоду 2024 року

Місяць / декада		Середньодобова температура повітря, °С			Сума опадів, мм		
		поточного року	середня багаторічна	± до норми	поточного року	середня багаторічна	± до норми
Квітень	I декада	9,0	6,0	+3,0	14,0	12,0	+2,0
	II декада	13,0	9,0	+4,0	18,0	14,0	+4,0
	III декада	16,0	12,0	+4,0	32,0	18,0	+14,0
	За місяць	12,7	9,0	+3,7	64,0	44,0	+20,0
Травень	I декада	14,0	14,5	-0,5	2,0	13,0	-11,0
	II декада	15,0	16,0	-1,0	1,0	19,0	-18,0
	III декада	18,0	17,5	+0,5	2,0	29,0	-27,0
	За місяць	15,7	16,0	-0,3	5,0	61,0	-56,0
Червень	I декада	20,0	18,7	+1,3	4,0	14,0	-10,0
	II декада	21,0	20,2	+0,8	3,0	18,0	-15,0
	III декада	21,0	20,3	+0,7	2,0	25,0	-23,0
	За місяць	20,7	19,7	+1,0	9,0	57,0	-48,0
Липень	I декада	24,0	21,0	+3,0	1,0	21,0	-20,0
	II декада	27,0	21,7	+5,3	2,0	20,0	-18,0
	III декада	25,0	22,4	+2,6	0,0	20,0	-20,0
	За місяць	25,7	21,7	+4,0	3,0	61,0	-58,0
Серпень	I декада	22,0	22,1	-0,1	0,0	11,0	-11,0
	II декада	23,0	21,1	+1,9	1,0	12,0	-11,0
	III декада	24,0	19,2	+4,8	0,0	19,0	-19,0
	За місяць	23,0	20,8	+2,2	1,0	42,0	-41,0
Вересень	I декада	18,0	17,0	+1,0	14,0	13,0	+1,0
	II декада	17,0	15,0	+2,0	4,0	12,0	-8,0
	III декада	15,0	14,0	+1,0	3,0	11,0	-8,0
	За місяць	16,7	15,3	+1,4	21,0	36,0	-15,0

Протягом другої декади травня утримувалась тепла суха погода. Середня декадна температура була на $1,0^{\circ}\text{C}$ нижчою норми, а опадів випало лише 1,0 мм, що на 18,0 мм менше норми. Ґрунт поступово пересихав, умови для росту культур погіршувались. А у третю декаду травня погода була теплою, але збереження дефіциту опадів посилювало проблему вологи. Температура повітря перевищувала норму на $0,5^{\circ}\text{C}$, опадів випало 2,0 мм, що на 27 мм менше норми.

У першій декаді червня переважала тепла, малодождова погода. Середня температура була на $1,3^{\circ}\text{C}$ вище багаторічної, опадів випало 4,0 мм, що на 10 мм менше норми. Продуктивна волога в ґрунті продовжувала знижуватись.

У другу декаду червня утримувалась тепла суха погода. Температура перевищувала норму на $0,8^{\circ}\text{C}$, кількість опадів становила 3,0 мм, що на 15 мм менше норми. Посилювалось пересихання верхнього шару ґрунту.

У третю декаду червня погодні умови були стабільно теплими, майже без опадів. Середня температура була на $0,7^{\circ}\text{C}$ вищою норми, а опадів випало лише 2,0 мм, при нормі 25 мм. Запаси продуктивної вологи стали низькими; умови розвитку культур – задовільні, але з тенденцією до ускладнення.

У першій декаді липня спостерігалась жарка та практично суха погода. Середня температура була на $3,0^{\circ}\text{C}$ вище норми, а кількість опадів склала лише 1,0 мм (на 20 мм менше норми). Запаси продуктивної вологи у ґрунті стали критично низькими та спостерігалися ознаки в'янення рослин.

У другу декаду липня утримувалась дуже жарка суха погода. Температура перевищувала норму на $5,3^{\circ}\text{C}$, опадів випало 2,0 мм, що на 18 мм менше норми. Стресові умови для рослин різко посилілись, водоспоживання перевищувало надходження вологи. А у третю декаду липня зберігалася тепла, але все ще суха погода. Середня температура була на $2,6^{\circ}\text{C}$ вище норми, опади були відсутні. Рівень водного стресу культур залишався високим, формування генеративних органів відбувалося в обмежених умовах.

У першій декаді серпня спостерігалась помірно тепла та бездощова погода. Температура була практично на рівні норми ($-0,1^{\circ}\text{C}$), опадів не було. Запаси продуктивної вологи залишались дуже низькими.

У другу декаду серпня утримувалась тепла малодощова погода. Температура була на $1,9^{\circ}\text{C}$ вищою норми, а кількість опадів склала лише 1,0 мм (при нормі 12 мм). Умови розвитку культур – незадовільні.

У третю декаду серпня погода стала ще теплішою, а опади були відсутні. Температура перевищувала норму на $4,8^{\circ}\text{C}$. Спостерігався найвищий рівень водного стресу за весь сезон, що негативно вплинуло на налив зерна.

У першій декаді вересня спостерігалась помірно тепла погода з опадами. Середня температура була на $1,0^{\circ}\text{C}$ вищою норми, опадів випало 14 мм, що на 1 мм більше норми. Це сприяло частковому поповненню запасів вологи.

У другу декаду вересня погода залишалася теплою, але з мінімальною кількістю опадів. Температура перевищувала норму на $2,0^{\circ}\text{C}$, опадів було лише 4 мм (на 8 мм менше норми). Вологозабезпеченість культур знову зменшилась.

У третю декаду вересня утримувалась тепла погода з локальними слабкими дощами. Температура була на $1,0^{\circ}\text{C}$ вищою норми, опадів випало 3 мм при нормі 11 мм. Зволоження залишалось недостатнім, проте температурні умови були сприятливими для завершення вегетації.

Вегетаційний період 2024 року характеризувався аномально високими температурами у літні місяці, дефіцитом опадів з травня по серпень, повною відсутністю ефективного зволоження в критичні фази розвитку культур та частковим покращенням вологозабезпечення лише у вересні.

Сезон загалом можна охарактеризувати як посушливий та термічно напружений, що могло суттєво вплинути на біометричні показники та продуктивність польових культур.

У першій декаді квітня 2025 року спостерігалась прохолодна, з незначними опадами погода. Середня декадна температура повітря була на $1,0^{\circ}\text{C}$ вищою за багаторічну норму, опадів випало 6,0 мм, що на 6,0 мм менше

норми. Запаси продуктивної вологи в ґрунті залишалися достатніми після зимового періоду (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3

Погодні умови вегетаційного періоду 2025 року

Місяці, декади		Основні показники					
		Середньодобова температура повітря, °С			Сума опадів, мм		
		поточного року	середня багаторічна	± до середн. багаторічної	поточного року	середня багаторічна	± до середн. багаторічної
Квітень	I	7,0	6,0	+1,0	6,0	12,0	-6,0
	II	10,5	9,0	+1,5	4,0	14,0	-10,0
	III	14,0	12,0	+2,0	2,0	18,0	-16,0
за місяць		10,5	9,0	+1,5	12,0	44,0	-32,0
Травень	I	15,8	14,5	+1,3	6,0	13,0	-7,0
	II	17,2	16,0	+1,2	12,0	19,0	-7,0
	III	18,6	17,5	+1,1	4,0	29,0	-25,0
за місяць		17,2	16,0	+1,2	22,0	61,0	-39,0
Червень	I	20,5	18,7	+1,8	10,0	14,0	-4,0
	II	22,0	20,2	+1,8	18,0	18,0	0,0
	III	23,2	20,3	+2,9	6,0	25,0	-19,0
за місяць		21,9	19,7	+2,2	34,0	57,0	-23,0
Липень	I	24,0	21,0	+3,0	2,0	21,0	-19,0
	II	26,8	21,7	+5,1	8,0	20,0	-12,0
	III	25,6	22,4	+3,2	4,0	20,0	-16,0
за місяць		25,5	21,7	+3,8	14,0	61,0	-47,0
Серпень	I	24,0	22,1	+1,9	6,0	11,0	-5,0
	II	23,5	21,1	+2,4	2,0	12,0	-10,0
	III	22,5	19,2	+3,3	1,0	19,0	-18,0
за місяць		23,3	20,8	+2,5	9,0	42,0	-33,0
Вересень	I	19,0	17,0	+2,0	14,0	13,0	+1,0
	II	18,0	15,0	+3,0	6,0	12,0	-6,0
	III	16,5	14,0	+2,5	4,0	11,0	-7,0
за місяць		17,8	15,3	+2,5	24,0	36,0	-12,0

Протягом другої декади квітня погода була помірно теплою, з окремими короткочасними дощами. Середня температура повітря перевищувала норму на $1,5^{\circ}\text{C}$, опадів випало $4,0$ мм, що на $10,0$ мм менше норми. Волога в ґрунті поступово зменшувалась, але залишалась на прийнятному рівні.

У третій декаді квітня переважала тепла суха погода. Середня декадна температура на $2,0^{\circ}\text{C}$ була вищою за норму, опади практично були відсутні (лише $2,0$ мм, що на $16,0$ мм менше норми). Сухі умови почали впливати на верхній шар ґрунту, проте умови для ранніх ярих культур залишались задовільними.

Протягом першої декади травня спостерігалась помірно тепла з невеликими опадами погода. Середня декадна температура повітря була на $1,3^{\circ}\text{C}$ вищою за багаторічну норму, опадів випало $6,0$ мм, що на $7,0$ мм менше норми. Запаси продуктивної вологи у ґрунті залишались задовільними, умови росту і розвитку культур – добрі.

У другу декаду травня панувала тепла з періодичними дощами погода. Середня температура повітря перевищувала норму на $1,2^{\circ}\text{C}$, опадів випало $12,0$ мм, що на $7,0$ мм менше норми. Зволоження верхнього шару ґрунту залишалось нерівномірним, проте загалом умови були сприятливі.

Протягом третьої декади травня спостерігалась тепла, переважно суха погода. Середня декадна температура була на $1,1^{\circ}\text{C}$ вищою за норму, опадів випало лише $4,0$ мм (на $25,0$ мм менше норми). Суттєвий дефіцит опадів призвів до зниження запасів продуктивної вологи, однак умови для росту культур залишались задовільними.

У першу декаду червня спостерігалась тепла, суха та вітряна погода. Середня температура повітря перевищувала норму на $1,8^{\circ}\text{C}$, опадів випало $10,0$ мм, що на $4,0$ мм менше норми. Запаси вологи поступово зменшувались. Умови росту культур – задовільні.

Протягом другої декади червня переважала тепла погода з окремими дощами. Середня температура була на $1,8^{\circ}\text{C}$ вищою норми, кількість опадів

становила 18,0 мм, що відповідає нормі. Волога в ґрунті дещо поповнилася, що сприяло активному росту рослин.

У третю декаду червня утримувалась тепла погода з мінімальною кількістю опадів. Середня декадна температура на 2,9°C перевищила норму, опадів випало 6,0 мм, що на 19,0 мм менше норми. Запаси продуктивної вологи у ґрунті знизилися до дуже низьких. Рослини відчували помірний водний стрес.

У першу декаду липня спостерігалась жарка суха погода. Середня декадна температура була на 3,0°C вищою норми, опадів випало лише 2,0 мм (на 19,0 мм менше норми). Запаси вологи в ґрунті стали критично низькими. У кукурудзи спостерігалась втрата тургору в денні години. Умови росту – несприятливі.

Протягом другої декади липня утримувалась дуже жарка погода. Температура повітря перевищувала норму на 5,1°C, опадів випало 8,0 мм, що на 12,0 мм менше норми. Вологість ґрунту залишалась низькою, тепловий стрес посилювався.

У третю декаду липня спостерігалась тепла погода з невеликими опадами. Середня декадна температура була на 3,2°C вищою норми, опадів випало 4,0 мм, що на 16,0 мм менше норми. Попри часткове зволоження, ґрунт продовжував залишатись пересушеним.

У першій декаді серпня переважала тепла, помірно суха погода. Середня температура була на 1,9°C вищою норми, опадів випало 6,0 мм, що на 5,0 мм менше норми. Умови росту культур – задовільні, проте дефіцит вологи зберігався.

У другу декаду серпня спостерігалась тепла погода з мінімальною кількістю опадів. Температура перевищувала норму на 2,4°C, опадів випало 2,0 мм, що на 10,0 мм менше норми. Запаси продуктивної вологи залишались дуже низькими.

Протягом третьої декади серпня переважала жарка та суха погода. Температура була на 3,3°C вищою норми, опадів випало лише 1,0 мм (на 18,0

мм менше норми). Рослини продовжували зазнавати значного водного стресу, умови їх розвитку були незадовільними.

У першій декаді вересня спостерігалась помірно тепла, з опадами погода. Середня декадна температура була на $2,0^{\circ}\text{C}$ вищою норми, опадів випало 14,0 мм, що на 1,0 мм більше норми. Запаси продуктивної вологи в ґрунті дещо збільшились.

У другу декаду вересня встановилась тепла малодощова погода. Температура перевищувала норму на $3,0^{\circ}\text{C}$, опадів випало 6,0 мм, що на 6,0 мм менше норми. Запаси вологи зменшились, але умови росту культур залишались задовільними.

Протягом третьої декади вересня утримувалась тепла з локальними опадами погода. Температура була на $2,5^{\circ}\text{C}$ вищою норми, опадів випало 4,0 мм, що на 7,0 мм менше норми. Зволоження ґрунту залишалось недостатнім, хоча температурні умови були сприятливими.

Вегетаційний період 2025 року характеризувався стійким перевищенням температури над багаторічною нормою на всіх етапах розвитку культур (у середньому $+2,4^{\circ}\text{C}$). Опади мали виражений дефіцит, особливо влітку, коли їхня кількість була у 2,5–4 рази меншою за норму.

Сумарна кількість опадів за травень–серпень становила 79 мм, що на 142 мм менше багаторічної норми. Найбільш критичними періодами були липень та серпень, коли висока температура поєднувалась із мінімальною кількістю опадів та наднизькими запасами продуктивної вологи.

Такі погодні умови створювали значне навантаження на агроценози, зумовлювали періодичні прояви водного й теплового стресу, що могло вплинути на ріст, розвиток та формування продуктивності польових культур.

2.4. Схема та методика проведення досліджень

Дослідження виконувались впродовж 2023-2025 років в умовах Правобережного Лісостепу, Черкаська область, Смілянський р-н, господарство групи Агро-Рось-Інвест за наступною схемою.

Дослід. Вплив кріопротектора та вологоутримувача на продуктивність кукурудзи

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)
Контроль, без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	Без вологоутримувача
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га

Площа елементарної облікової ділянки 50 м², повторність – триразова. Дослід закладався рендомізовано.

Для вирощування використовували гібрид кукурудзи ДКС 4351.

В досліді застосовуються строки сівби кукурудзи максимально ранні, за температури ґрунту на глибині сівби насіння 8°C.

Вологоутримувач 'Аквасорб' (AQUASORB) вносять під ранньовесняну культивуацію суцільним способом за допомогою розкидача типу Amazone ZA-TS 3200.

Обробку кукурудзи кріопротектором проводили до сівби а посівів відразу після настання заморозків в рекомендованих виробником дозах застосування.

В дослідіх проведені наступні обліки, спостереження й аналізи.

Фенологічні спостереження за фазами росту й розвитку рослин, динамікою накопичення маси кукурудзи проводили за методикою державного сортовипробування [155]

Густоту рослин визначали двічі за вегетацію на ділянках I і III повторень.

Висоту рослин визначали мірною лінійкою від поверхні ґрунту до верхівки головного стебла у досліджувані фази росту і розвитку рослин, шляхом вимірювання на закріплених кілочками 40 рослинах на двох несуміжних повтореннях [177; 179].

Агрохімічні аналізи ґрунту проводились перед закладанням досліді за методами: гумус – за ДСТУ 4289-2004; гідролітичну кислотність і рН сольове, суму ввібраних основ, рухомий фосфор та обмінний калій за ДСТУ 4405:2005; азот, що легко гідролізується за ДСТУ 4729:2007.

За методикою А.А. Ничипоровича буде визначено [177]:

– динаміку наростання листової поверхні:

$$S_n = 0,65ab, \quad (1)$$

де S_n – площа одного листка, см²; a – найширша частина листка, см; b – довжина листка, см; $0,65$ – коефіцієнт, який відображає конфігурацію листка.

– чисту продуктивність фотосинтезу:

$$ЧПФ = 2(B1-B2)/[n (Л1+Л2)], \quad (2)$$

де $ЧПФ$ - чиста продуктивність фотосинтезу, $г/м^2$ за добу; $B1$ і $B2$ – суха маса рослин у кінці і на початку облікового періоду, $г$; $Л1$ і $Л2$ – площа листової поверхні на початку та у кінці облікового періоду, $м^2$; n – кількість днів за період [158].

Облік врожаю кукурудзи проводили у фазі повної стиглості з кожної облікової ділянки окремо. Вміст сухої речовини визначали методом висушування в сушильній шафі при температурі $105^{\circ}C$ до абсолютно сухого стану.

Лабораторну схожість, вологість, масу 1000 насінин визначали за методиками ДСТУ 6 (1985, 1990).

Статистичний аналіз за варіаційним, дисперсійним, кореляційним і регресійним методами з використанням прикладної програми Statistica-6 [138].

Оцінку економічних показників за методикою економічної ефективності використання в сільському господарстві результатів науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, нової техніки, винаходів і раціоналізаторських пропозицій за наступними формулами[113]:

$$\text{Вартість валової продукції} = \text{Урожайність} \times 6000$$

$$\text{Додатковий дохід} = (\text{Вартість валової продукції варіанту} - \text{контроль})$$

$$\text{Умовно чистий прибуток} = (\text{Валовий дохід} - \text{Витрати})$$

$$\text{Рентабельність} = \frac{\text{Прибуток}}{\text{Витрати}} \times 100$$

Енергетичну оцінку виконували за методикою О.К. Медведовського та П.І. Іваненка [154].

Модифікаційну мінливість та адаптивність розраховували за наступними формулами:

Дисперсія модифікаційної мінливості (S^2) характеризує абсолютну чутливість ознаки до умов середовища та технологічних факторів.

$$S^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Чим менше S^2 , тим вища стабільність прояву ознаки.

Коефіцієнт варіації (CV , %) є відносним показником мінливості, що дозволяє порівнювати різні ознаки.

$$CV = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100$$

При $CV \leq 10\%$ – висока стабільність, 10–20% – середня, 20% – низька. Відмінності між значеннями коефіцієнта варіації урожайності, отриманими на різних етапах аналізу, зумовлені різною базою їх розрахунку. У першому випадку CV відображає міжрічну мінливість урожайності та характеризував реакцію культури на зміну гідротермічних умов років досліджень.

$$CV_{\text{міжрічний}} = \frac{SD_{\text{між років}}}{\bar{Y}_{\text{роки}}} \times 100$$

Натомість у межах адаптивного аналізу коефіцієнт варіації розраховувався для окремих варіантів технології та відображав модифікаційну стабільність урожайності та інших ознак (вираховану на основі повторень і років як фонового шуму).

$$CV_{\text{модифікаційний}} = \frac{SD_{\text{варіанта}}}{\bar{Y}_{\text{варіанта}}} \times 100$$

Зниження значень CV у другому випадку свідчить про вирівнювання реалізації продуктивності та підвищення адаптивної надійності технологічних прийомів.

Індекс фенотипової стабільності (IF) використовується для інтегральної оцінки адаптивності (чим більший – тим краще):

$$IF = \frac{\bar{x}}{CV}$$

2.5. Особливості технології вирощування кукурудзи на дослідних ділянках.

Технологія вирощування кукурудзи на дослідних ділянках була сформована з урахуванням сучасних підходів до адаптивного та ресурсоефективного землеробства й передбачала інтеграцію класичних агротехнічних прийомів із елементами точного землеробства, антистресового менеджменту та регуляції водного режиму рослин. Це дозволило максимально наблизити умови дослідів до сучасного виробництва та забезпечити репрезентативність отриманих результатів.

Основний обробіток ґрунту здійснювали з використанням плуга оборотного типу (Kuhn, Lemken) або глибокорозпушувача (Horsch Tiger, Case IH Ecolo-Tiger) на глибину 25–28 см, що забезпечувало руйнування плужної підшви, покращення аерації та накопичення вологи в осінньо-зимовий період. У роки з підвищеною ризикованістю пересихання верхнього шару ґрунту застосовували мінімізований обробіток із використанням дискових агрегатів (Horsch Joker, Lemken Rubin).

Передпосівний обробіток включав культивування на глибину 5–7 см з одночасним вирівнюванням поверхні поля комбінованими агрегатами (Kompaktor, Carrier), що забезпечувало формування однорідного насіннєвого ложа та рівномірну глибину загорання насіння.

Сівбу кукурудзи проводили просапними сівалками точного висіву (Väderstad Tempo, John Deere MaxEmerge) з міжряддям 70 см та контролем норми висіву в режимі реального часу. Посів здійснювали за температури ґрунту на глибині загорання 10–12 °С, що відповідало сучасним рекомендаціям щодо уникнення холодового стресу.

Глибина загорання насіння становила 5–6 см, а розрахункова густина посіву забезпечувала оптимальне просторове розміщення рослин без надмірної конкуренції за вологу й елементи живлення.

Ключовим елементом осучаснення технології було інтегроване застосування кріопротектора АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС та вологоутримувача AQUASORB.

АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС застосовували для передпосівної обробки насіння (0,5–1,0 л/т), що сприяло активації проростання, розвитку кореневої системи та підвищенню стартової енергії росту та у вигляді післястрессового обприскування (1,5–2,0 л/га) після весняних заморозків або різких температурних коливань.

Вологоутримувач AQUASORB вносили локально в зону рядка під час сівби у нормах 50, 100, 150 та 200 кг/га за допомогою спеціалізованих аплікаторів або адаптованих бункерів сівалки. Такий спосіб внесення забезпечував прямий контакт гідрогелю з кореневою зоною та підвищував ефективність акумуляції і поступового вивільнення ґрунтової вологи.

Система удобрення формувалася на основі результатів агрохімічного аналізу ґрунту. Основні дози мінеральних добрив (NPK) вносили під передпосівний обробіток із використанням розкидачів Amazone або Rauch, що забезпечувало рівномірність розподілу елементів живлення.

Упродовж вегетації застосовували позакореневі підживлення сучасними мікродобривами та стимуляторами росту, зокрема Інтермаг Титан – 0,2 л/га, БЛЕК ДЖЕК КС – 1,0 л/га, які вносили штанговими обприскувачами (Amazone UX, John Deere R-series) у фазах 6–8 та 10–12 листків для підтримання оптимального фізіологічного стану рослин.

Захист посівів кукурудзи від бур'янів у досліді реалізовували на основі комбінованої (ґрунтово-страхової) системи, що відповідає сучасним концепціям інтегрованого контролю забур'яненості та дозволяє мінімізувати конкуренцію за вологу, елементи живлення і світло в ранні фази росту культури.

На початковому етапі застосовували ґрунтові гербіциди, спрямовані на стримування проростання однорічних злакових і дводольних бур'янів. Основу ґрунтового захисту становили препарати на основі ацетохлору або S-

метолахлору у поєднанні з тербутилазином, які вносили до або відразу після сівби. Такий підхід забезпечував формування «чистого старту» культури та суттєво зменшував тиск бур'янів у критичний період – від появи сходів до фази 4–5 листків кукурудзи.

У подальшому, з урахуванням фактичного видового складу бур'янів і погодних умов року, застосовували страхові (післясходові) гербіциди. Для контролю дводольних бур'янів використовували препарати на основі мезотріону, дикамби або флорасуламу, тоді як для злакових – діючі речовини з групи нікосульфурону або римсульфурону. Обробки проводили у фазі 3–6 листків кукурудзи, що дозволяло досягти максимальної ефективності препаратів за мінімального ризику фітотоксичності.

Важливою особливістю системи захисту було строге дотримання принципу селективності, що дозволило уникнути негативного впливу гербіцидів на фізіологічний стан рослин і не спотворювати результати досліджень, пов'язані з дією кріопротектора та вологоутримувача.

Система захисту від шкідників будувалася за принципами інтегрованого захисту рослин (IPM) з урахуванням економічних порогів шкідливості та результатів регулярного фітосанітарного моніторингу.

На ранніх етапах розвитку культури особливу увагу приділяли захисту від ґрунтових і початкових фітофагів, зокрема дротяників та личинок хрущів. За необхідності застосовували інсектицидне протруювання насіння або локальне внесення інсектицидів у рядок, що забезпечувало цілеспрямований захист з мінімальним навантаженням на агроєкосистему.

Упродовж вегетації проводили спостереження за чисельністю стеблового кукурудзяного метелика (*Ostrinia nubilalis*), попелиць та інших шкідників. За перевищення економічного порогу шкодочинності здійснювали обприскування інсектицидами на основі лямбда-цигалотрину, хлорантраніліпролу або тіаметоксаму у фазах, критичних для формування генеративних органів.

Застосування інсектицидів здійснювали виключно за необхідності, що дозволяло зберегти ентомофауну поля та не порушувати природні регуляторні механізми агроценозу.

Фунгіцидний захист кукурудзи в досліді мав профілактично-коригувальний характер і був спрямований на стримування розвитку як листових, так і стеблових хвороб.

Основну увагу приділяли контролю гельмінтоспоріозу (*Helminthosporium* spp.), фузаріозу стебла і качана, а також плямистостей листків. За появи перших симптомів або за прогнозу сприятливих для розвитку хвороб умов застосовували фунгіциди системної або комбінованої дії на основі триазолів (тебуконазол, пропіконазол) у поєднанні зі стробілуринами (азоксистробін, піраклостробін).

Фунгіцидні обробки, за потреби, проводили переважно у фазах 8–10 листків та перед викиданням волоті, що відповідало періоду максимального розвитку листового апарату та дозволяло зберегти його функціональну активність у фазі наливу зерна. Це є принципово важливим для забезпечення стабільності фотосинтетичних процесів і мінімізації вторинних втрат продуктивності.

Збирання врожаю кукурудзи проводили із застосуванням сучасних зернозбиральних комбайнів (John Deere, Claas, Case IH), оснащених кукурудзяними жатками, що забезпечували мінімальні втрати зерна та його механічне пошкодження.

Збирання розпочинали за досягнення зерном фізіологічної стиглості, коли вологість становила 20–24 %, що дозволяло поєднати високу якість продукції з оптимальними витратами на післязбиральне досушування. Перед збиранням здійснювали контроль рівномірності досягання та стану посівів, що було особливо важливо для коректного обліку результатів досліді.

Зерно після збирання очищали та, за потреби, досушували до кондиційної вологості з використанням стандартних технологічних режимів. Облік врожаю проводили з урахуванням перерахунку на стандартну вологість,

що забезпечувало порівнюваність отриманих даних між варіантами та роками досліджень.

2.6. Характеристика гібриду кукурудзи та препаратів використуваних в досліді

Гібрид кукурудзи ДКС 4351 (DEKALB) належить до групи середньоранніх–середньостиглих гібридів і характеризується високою пластичністю, стабільністю продуктивності та доброю адаптованістю до умов Лісостепу і Степу України. За класифікацією FAO гібрид відноситься до групи FAO 330–350, що забезпечує оптимальне поєднання тривалості вегетаційного періоду з можливістю формування високого рівня врожайності зерна.

Рослини гібриду ДКС 4351 формують потужний, добре облиствлений стеблостій з міцним стеблом, що знижує ризик вилягання навіть за інтенсивних технологій вирощування. Висота рослин, залежно від умов року та агрофону, становить у середньому 240–270 см, при цьому висота прикріплення качана – 95–115 см, що є оптимальним для механізованого збирання.

Листковий апарат добре розвинений, листки широкі, з високим вмістом хлорофілу, що забезпечує високу фотосинтетичну активність упродовж вегетації. Гібрид характеризується стійким “stay-green”-ефектом, що сприяє тривалішому функціонуванню листків у період наливу зерна та більш повній реалізації потенціалу продуктивності.

Качан циліндричної або слабokonусоподібної форми, добре виповнений, з рівномірним розміщенням зерен. Кількість рядів зерен у качані зазвичай становить 14–16, кількість зерен у ряду – 32–38, що забезпечує високу потенційну озерненість. Зерно типу dent (зубоподібне), добре виповнене, з високою масою 1000 зерен, яка за сприятливих умов досягає 280–320 г.

Гібрид характеризується доброю синхронізацією цвітіння волоті та приймочок качана, що знижує ризик неповного запилення за стресових умов і сприяє стабільному формуванню врожаю.

Однією з ключових переваг гібриду ДКС 4351 є його висока екологічна пластичність. Він добре реагує на підвищений агрофон, але водночас здатний зберігати відносно високий рівень продуктивності за умов обмеженого вологозабезпечення. Гібрид проявляє підвищену посухостійкість завдяки розвиненій кореневій системі та ефективному регулюванню водного балансу.

Стійкість до вилягання оцінюється як висока, що особливо важливо за інтенсивного азотного живлення та в роки з підвищеною вітровою активністю. Гібрид також характеризується доброю толерантністю до основних хвороб кукурудзи, зокрема до гельмінтоспоріозу та фузаріозу стебла, що знижує ризики втрат урожаю та потребу в додаткових фунгіцидних обробках.

Господарське призначення та технологічна цінність

ДКС 4351 є універсальним зерновим гібридом, придатним для вирощування як у товарних, так і в інтенсивних технологіях. Він добре реагує на оптимізацію мінерального живлення, застосування мікродобрив і антистресових препаратів, що робить його зручним об'єктом для наукових досліджень і виробничих експериментів.

Зерно гібриду відзначається високою вирівняністю та добрими технологічними властивостями, що забезпечує його придатність для продовольчого, кормового та біоенергетичного використання. Помірна вологість зерна на момент збирання полегшує післязбиральну доробку та знижує енерговитрати на сушіння.

Кріопротектор **АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС** належить до групи багатокомпонентних біологічно активних препаратів антистресової дії, призначених для підвищення стійкості рослин до абіотичних стресів, насамперед низьких температур, різких добових коливань температури, водного дефіциту та комбінованих стресових факторів. Його застосування

базується на сучасній концепції фізіологічної стабілізації рослин, а не лише на компенсації наслідків пошкодження.

АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС містить комплекс біологічно активних органічних сполук, серед яких провідну роль відіграють екстракти морських водоростей і рослинного походження, органічні кислоти та їх похідні, природні фітогормоноподібні речовини, амінокислоти та осмопротектори. Поєднання цих компонентів забезпечує багатовекторну дію препарату на клітинному та тканинному рівнях, що відрізняє АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС від класичних хімічних антистресантів вузької спрямованості.

Основний кріопротекторний ефект препарату реалізується через стабілізацію клітинних мембран та регуляцію осмотичного потенціалу клітин. Під дією низьких температур або різких температурних коливань у рослин відбувається порушення мембранної проникності та деградація білкових структур. АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС сприяє збереженню цілісності мембран за рахунок підвищення вмісту осмотично активних сполук у клітинах, стабілізації фосфоліпідного шару мембран та зменшення інтенсивності перекисного окиснення ліпідів. Це дозволяє рослинам швидше відновлювати метаболічну активність після дії холодового стресу та мінімізувати первинні і вторинні пошкодження тканин.

Застосування АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС позитивно впливає на ключові фізіологічні процеси, що визначають життєздатність рослин у стресових умовах. Зокрема, препарат активізує антиоксидантну систему рослин, знижуючи рівень окисного стресу, стимулює енергетичний обмін та синтез АТФ, покращує водоутримувальну здатність клітин і регуляцію транспірації та сприяє активації кореневої системи, що є критично важливим для відновлення росту після стресу. Завдяки цим ефектам рослини зберігають більш стабільний фізіологічний стан, що проявляється у вирівняності росту, зменшенні відставання окремих рослин у посіві та підвищенні екологічної пластичності агроценозу.

АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС характеризується високою технологічною гнучкістю і може застосовуватися на різних етапах вирощування кукурудзи: передпосівна обробка насіння – для підвищення енергії проростання та формування стійких проростків; післястресове позакореневе обприскування – після весняних заморозків або різких температурних коливань; профілактичне застосування у фазах інтенсивного росту для підвищення загальної стійкості рослин.

Препарат добре сумісний з більшістю мінеральних добрив, мікродобрив та засобів захисту рослин, що дозволяє інтегрувати його в існуючі технологічні схеми без ускладнення логістики польових робіт.

З позицій сучасного агровиробництва АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС слід розглядати не лише як кріопротектор у вузькому розумінні, а як фізіологічний модифікатор стійкості рослин, здатний зменшувати негативні наслідки різних форм абіотичного стресу. Це особливо актуально в умовах кліматичної мінливості, коли весняні заморозки, різкі перепади температури та короткочасні періоди водного дефіциту стають регулярним явищем.

Вологоутримувач **AQUASORB** належить до групи суперабсорбуючих полімерів (SAP), призначених для регуляції водного режиму ґрунту та підвищення ефективності використання вологи рослинами. Його застосування базується на сучасній концепції ґрунтово-орієнтованого управління водними ресурсами, що є одним із ключових елементів адаптивних технологій землеробства в умовах кліматичної мінливості.

AQUASORB є гранульованим полімером на основі калієвої солі поліакрилової кислоти, здатним багаторазово поглинати та утримувати воду у кількостях, що в 150–300 разів перевищують власну масу (залежно від якості води та ґрунтового розчину). Після набухання гранули утворюють гелеподібну структуру, яка акумулює вологу та поступово віддає її в навколишній ґрунт у міру зниження водного потенціалу.

Принципово важливо, що вода в гелі AQUASORB утримується у формі, доступній для кореневої системи рослин, але водночас не є вільною, що

запобігає її швидкому випаровуванню або інфільтраційним втратам у глибші горизонти ґрунту.

Застосування AQUASORB сприяє підвищенню вологості кореневмісного шару ґрунту, зменшенню амплітуди коливань вологості між опадами та періодами посухи, подовженню періоду доступності продуктивної вологи для рослин та зниженню поверхневого стоку та глибокої інфільтрації води. У результаті формується більш стабільне водне середовище для кореневої системи, що особливо важливо в критичні фази росту кукурудзи – від проростання до початку генеративного розвитку.

Окрім прямої водоутримувальної функції, AQUASORB позитивно впливає на агрофізичні властивості ґрунту. Набухлі гранули сприяють покращенню структури ґрунту, підвищенню його пористості та аерації, особливо на легких і середніх за гранулометричним складом ґрунтах. Це створює сприятливі умови для росту та галуження кореневої системи.

Корені рослин здатні активно проникати в зону розміщення гелю, використовуючи накопичену вологу як локальний резервуар. Таким чином, AQUASORB формує мікрозони підвищеної водної доступності, що підвищує стійкість рослин до короточасних посух і температурних стресів.

AQUASORB здатний частково акумулювати катіони поживних елементів (K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+}) разом із ґрунтовою вологою, що зменшує їх вимивання та підвищує ефективність використання мінеральних добрив. Поступове вивільнення вологи разом із розчиненими елементами живлення забезпечує більш рівномірне живлення рослин упродовж вегетації.

Водночас вологоутримувач не вступає у хімічні реакції з більшістю агрохімікатів і не проявляє фітотоксичності, що дозволяє безпечно поєднувати його з мінеральними добривами, мікродобривами та засобами захисту рослин.

Важливою технологічною особливістю є те, що ефект AQUASORB має пролонгований характер: полімер зберігає здатність до багаторазового набухання та висихання впродовж кількох років, поступово деградує без

утворення токсичних продуктів. Це робить його застосування доцільним не лише з агрономічної, а й з екологічної точки зору.

З наукової точки зору AQUASORB слід розглядати як інструмент регулювання водного фактора урожайності, що дозволяє зменшити залежність рослин від нерівномірного розподілу опадів. У практичному аспекті його застосування сприяє підвищенню стабільності росту та розвитку кукурудзи, зниженню ризиків втрати продуктивності в посушливі періоди та підвищенню ефективності використання ґрунтової вологи.

Висновки з розділу 2:

1. Ґрунт дослідного поля є одним з найбільш поширених та добре забезпечених елементами живлення, що сприяє реалізації високого рівня продуктивності кукурудзи.

2. Визначено, що погодні умови відрізнялись від багаторічних показників. Однак, в цілому були прийнятними для росту та розвитку кукурудзи.

3. Методика проведення досліджень та схема польового дослідження відповідають меті та завданням досліджень. Для якісного виконання наукової роботи передбачена достатня кількість обліків, спостережень і аналізів.

4. Технологія вирощування кукурудзи загальноприйнята в умовах Правобережної частини Лісостепу України, за виключенням елементів що досліджувались.

Розділ 3

ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НА РІСТ ТА РОЗВИТОК КУКУРУДЗИ

Дослідження особливостей росту та розвитку рослин кукурудзи в онтогенезі мають надзвичайно важливе значення в контексті створення ефективних елементів енергозберігаючих технологій вирощування адаптованих до біологічних потреб гібридів кукурудзи та можливостей регіону [3; 6; 11; 149; 157].

В умовах правобережної частини Лісостепу України все більш актуальним є збереження рослин кукурудзи від критичних посушливих періодів. Так, загалом культура має хорошу стійкість до посухи, здатна відновлювати ріст та розвиток після нетривалих засушливих періодів та часткової втрати тургору, однак останні роки все частіше нестача опадів, чи ґрунтова або повітряна посуха та вплив високих температур повітря припадає на критичні для рослин кукурудзи етапи росту та розвитку. Відповідно що у таких рослин зменшуються шанси в подальшому сформувати високий рівень продуктивності [60; 78; 114; 117].

Щоб унеможливити співпадіння несприятливих умов вирощування та критичних періодів росту та розвитку сільськогосподарських культур науковці радять вирощувати гібриди різних груп стиглості. Адже навіть за різниці в 3-4 доби ситуація може змінитись кардинально та на користь рослинам [118; 119; 120].

Попри те що побутує думка що в кукурудзи чим більш пізньостиглі гібриди тим ефективніше їх вирощувати, так як вони накопичують набагато більше сонячної енергії в урожаї чим ранньостиглі гібриди, але це далеко не так для умов Правобережжя України. Так, запаси вологи в ґрунті та доступні можливості опадів останнім часом сильно обмежені і в умовах нестійкого зволоження може не хватити вологи для реалізації високого потенціалу продуктивності пізньостиглих гібридів. Крім того, збирання гібридів з

високими значеннями ФАО припадає на пізню осінь, коли активніше випадають опади а отже і зерно не відповідає вимогам та потребує післязбирального досушування [121; 122; 123].

З фізіологічної точки зору для кукурудзи важливим питанням залишається створення не тільки оптимального фотосинтетично активного агрофітоценозу а й забезпечення рослин достатньою кількістю елементів живлення. Адже коренева система рослин мичкувата і ефективно працює в основному в верхніх шарах ґрунту. А тому мінеральне живлення не працює ефективно в умовах тотального дефіциту вологи, а органічне має свої недоліки – не здатне забезпечити значну потребу рослин кукурудзи в елементах живлення в відносно короткий період [124; 125; 126].

Отже, дослідження питань запланованих програмою досліджень цікаве передусім з точки зору вивчення особливостей реакції рослин різних гібридів кукурудзи на фактори впливу в поєднанні з ґрунтово-кліматичними умовами.

3.1. Водоспоживання та ріст і розвиток кукурудзи залежно від факторів досліду

Рослини кукурудзи потребують значно менше вологи порівняно з культурами СЗ типу фотосинтезу, в яких зайві витрати вологи відбуваються на охолодження поверхні листка. Однак, за даними науковців від появи сходів до формування 12-15 листка вони поглинають лише 7-8 %, а до настання фази молочної стиглості зерна витрачається 69-73 % від загального обсягу спожитої за вегетаційний період води [127; 128; 129].

Відповідно в умовах Правобережної частини лісостепу України, а особливо зони нестійкого зволоження основні опади що насичують запаси ґрунтової вологи проходять в осінньо-зимовий період, а впродовж вегетаційного періоду кукурудзи відбувається випадання здебільшого 40-60 мм в місяць, що за впливу високих температур та помилок в агротехніці

виросування, а зокрема – підготовці ґрунту до сівби, догляду за рослинами, створення занадто зріджених агрофітоценозів вкрай мало для ефективного росту та розвитку культури.

Дані водоспоживання кукурудзи залежно від впливу факторів досліду наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Коефіцієнт водоспоживання залежно від впливу факторів досліду, м³/т

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	2023	2024	2025
Контроль, без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача	315	314	330
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	318	317	327
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	310	311	323
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	298	297	315
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	294	294	312
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача	310	311	323
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	307	308	318
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	310	311	315
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	299	300	309
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	296	299	306
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	Без вологоутримувача	297	298	308
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	295	296	305
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	297	298	300
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	287	288	294
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	280	282	290
НІР _{0,05}		10	8	14

За даними інших науковців транспіраційний коефіцієнт кукурудзи зазвичай може становити 250 м³/т. Хоча для формування високого рівня продуктивності рослини потребують від 450 до 600 мм опадів за період вегетації. а тому в працях інших науковців зустрічаються дані транспіраційного коефіцієнту для даної культури в межах від 300 до 400 м³/т.

Проведені нами дослідження в 2023 році показують що посіви кукурудзи в умовах нестійкого зволоження Правобережної частини Лісостепу України мали транспіраційний коефіцієнт що змінювався від 280 до 318 м³/т. Аналогічно в умовах 2024 року транспіраційний коефіцієнт змінювався від 282 до 317 м³/т.

За результатами досліджень встановлено, що в умовах 2025 року, які характеризувались різко вираженою літньою посухою, підвищеним температурним фоном та обмеженими запасами продуктивної вологи у ґрунті, спостерігалось загальне підвищення коефіцієнта водоспоживання кукурудзи порівняно навіть з 2024 роком. Особливо це проявлялось у контрольних варіантах, де коефіцієнт водоспоживання збільшився до 330 м³/т, що на 16 м³/т перевищує відповідний показник попереднього року.

У варіантах без використання кріопротектора, але за внесення різних норм вологоутримувача AQUASORB, відзначено закономірне зниження водоспоживання. Застосування 50 кг/га зменшувало коефіцієнт на 3 м³/т, 100 кг/га – на 7 м³/т, 150 кг/га – на 15 м³/т, а максимальна норма 200 кг/га – до 312 м³/т, що свідчить про суттєве покращення водоутримувальної здатності ґрунтового профілю та ефективнішу реалізацію рослинами доступної вологи.

У варіантах з обробкою кріопротектором АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС після заморозків (2,5 л/га) ефективність використання води також покращувалась. Коефіцієнт водоспоживання зменшувався до 323 м³/т, що пояснюється стимуляцією відновлення фотосинтетичної активності та функціонування кореневої системи після низькотемпературного стресу. Поєднання кріопротектора з вологоутримувачем (особливо 150–200 кг/га AQUASORB) сприяло додатковому зниженню коефіцієнта до 306–309 м³/т, що підтверджує

синергію між регуляцією фізіолого-біохімічних процесів та підвищенням гідрологічної місткості ґрунту.

Найкращий результат відзначено у варіантах з передпосівною обробкою насіння кріопротектором АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС (2,5 л/т насіння). У цьому випадку коефіцієнт водоспоживання знижувався вже до 308 м³/т навіть без додаткових заходів, що зумовлено кращим стартовим ростом, інтенсифікацією розвитку кореневої системи та підвищенням ранньої адаптивності рослин до ґрунтово-кліматичних умов.

Комбінація цього способу обробки з нормами гідрогелю AQUASORB продемонструвала найвищу ефективність серед усіх варіантів досліду: 50 кг/га – зниження до 305 м³/т, 100 кг/га – до 300 м³/т, 150 кг/га – до 294 м³/т, 200 кг/га – до мінімального значення 290 м³/т, що є найнижчим показником водоспоживання у 2025 році.

Таким чином, отримані результати свідчать про те, що в умовах екстремальної посухи 2025 року найбільш ефективними заходами зі зниження водоспоживання кукурудзи є поєднання передпосівної обробки насіння кріопротектором та застосування високих норм вологоутримувача AQUASORB (150–200 кг/га).

Загальна тенденція підтверджує закономірність, встановлену у 2024 році, оскільки кріопротектор покращує стресостійкість рослин, зменшуючи витрати води на одиницю врожаю за рахунок підвищення ефективності фотосинтезу та збалансованої регуляції ростових процесів а вологоутримувач формує стабільний запас доступної вологи, що мінімізує втрати на непродуктивне випаровування. При цьому, комбінований ефект обох факторів максимальний за умов тривалої посухи та високих температур.

Таким чином, дані таблиці 3.1 демонструють чітку градацію ефективності досліджуваних факторів та їх здатність пом'якшувати негативний вплив гідротермічного стресу на продукційний процес кукурудзи в 2025 році.

Усі три роки досліджень чітко демонструють закономірний градієнт водоспоживання залежно від умов року – від помірного (2023), нестачі опадів та використання запасів вологи нижніх шарів ґрунту (2024), до екстремально посушливих (2025). На цьому тлі проявляється стабільна дія технологічних факторів (кріопротектор та гідрогель), що дозволило сформувати комплексну картину регуляції водоспоживання кукурудзи.

Показники 2023–2024 рр. практично ідентичні, що відображає збалансований за різними типами водоспоживання гідротермічний режим цих сезонів. Тоді як у 2025 році відбулося різке збільшення коефіцієнта водоспоживання, що безпосередньо пов'язано з обмеженими запасами продуктивної вологи у ґрунті і відсутністю їх поповнення в 2024 році та тривалим періодом літньої посухи.

Зростання коефіцієнта водоспоживання до 330 м³/т у 2025 році свідчить про те, що рослини, перебуваючи в умовах водного стресу, витрачали більше води на підтримання базових фізіологічних процесів (охолодження, регуляція тургору), а менше – на формування врожаю. Це є класичною реакцією кукурудзи С4-типу при дефіциті вологи.

У всіх роках досліджень простежується чітка логічна закономірність: чим вища норма AQUASORB – тим нижчий коефіцієнт водоспоживання. Це пояснюється збільшенням вологомісткості прикореневого шару, зменшенням непродуктивних втрат води на випаровування, стабілізацією добового водоспоживання, зменшенням амплітуди температурних стресів. Наприклад, у 2025 році (як найконтрастнішому) коефіцієнт водоспоживання без гідрогелю – 330 м³/т, 50 кг/га – 327 м³/т, 100 кг/га – 323 м³/т, 150 кг/га – 315 м³/т, 200 кг/га – 312 м³/т. Зниження на 18 м³/т при максимальній нормі свідчить про ефективний перерозподіл і доступність води в ґрунтовому профілі.

Ефект AQUASORB найбільше проявляється в роки з браком вологи адже у 2023–2024 рр. діапазон зменшення становив 3–20 м³/т. У 2025 р. ефект зростав до 30–40 % сильніший, що є підтвердженням адаптивного характеру гідрогелю: він дає найбільшу користь саме за екстремальних умов. Отже,

гідрогель не завжди впливає на транспіраційний коефіцієнт, але його ефект різко посилюється за посухи.

Після заморозкове внесення кріопротектора АМАЛГЕРОЛ по вегетації забезпечує помірний стабілізуючий ефект. Так, у 2023–2025 рр. коефіцієнт водоспоживання після заморозків знижувався в середньому на 5–10 м³/т. Механізм дії полягає в прискоренні відновлення ростової точки, нормалізації роботи продихів, зменшенні непродуктивної транспірації та стимуляції розвитку кореневої системи.

Особливо важливо те, що АМАЛГЕРОЛ зменшує втрати на підтримання життєдіяльності рослин – тобто знижує частку води, яка витрачається не на урожай, а на підтримання життєдіяльності після стресу.

Передпосівна обробка сприяє системній зміні режиму водоспоживання. Цей варіант стабільно знижував коефіцієнт водоспоживання незалежно від року: 2023: 297–280 м³/т; 2024: 298–282 м³/т; 2025: 308–290 м³/т

Застосування для обробки насіння АМАЛГЕРОЛ забезпечує найнижчі значення серед усіх варіантів, що пов'язано з формуванням потужної кореневої системи вже на 10-ту добу, раннім зниженням транспіраційних втрат, підвищенням ефективності фотосинтезу, оптимізацією продуктивності продихів.

Варіанти з одночасним застосуванням кріопротектора та вологоутримувача демонструють ефект синергії, а не просто сумарний вплив. Так, синергія проявляється у двох напрямках адже рослина краще засвоює наявну воду (АМАЛГЕРОЛ) та ґрунт довше утримує доступну воду (АQUASORB). У результаті зменшуються пікові навантаження водного стресу, рослина підтримує вищу інтенсивність фотосинтезу в полудневій годині, коренева система працює без режиму аварійного заглиблення, витрати води на 1 т зерна мінімізуються. Так, у 2025 р. коефіцієнт водоспоживання знижено до мінімальних значень – 290 м³/т, що на 40 м³/т нижче контролю.

Отже, коефіцієнт транспірації підвищується в умовах водного дефіциту. А посушливий рік це вищий коефіцієнт та менша ефективність використання води. Тому гідрогелі найефективніші саме в посушливі роки і ефект від застосування у 2025 р. був у 1,4–1,8 раза сильніший, ніж у 2023 р.

Передпосівна обробка АМАЛГЕРОЛОМ забезпечує системне зниження водоспоживання і це єдине рішення, що працює стабільно у всі роки. Коли поєднання АМАЛГЕРОЛ + AQUASORB створює синергетичний ефект, який вдвічі сильніший, ніж дія кожного фактора окремо.

Ефективність застосування вологоутримувальних матеріалів у технології вирощування кукурудзи визначається комплексом ґрунтово-кліматичних, агротехнічних і фізіолого-біологічних чинників, що впливають на водний режим рослин у критичні фази розвитку. Гідрогелі функціонують як буферний резервуар доступної вологи та найдоцільніші в умовах, де ризики дефіциту води систематично обмежують продуктивність культури.

Гідрогель доцільно застосовувати лише в тих агрокліматичних умовах, де існує високий ризик водного стресу в період формування генеративних органів кукурудзи (фази 6–12 листків, трубкування, волотіння – вихід качана). Це не універсальний препарат для будь-яких умов, а адаптивний елемент технології.

Ключові ґрунтово-кліматичні критерії, які визначають доцільність застосування вологоутримувача спираються на запаси продуктивної вологи в ґрунті, гідротермічний коефіцієнт (ГТК) та прогноз погоди та сценарії ризику і багато інших факторів.

Якщо запаси вологи у шарі ґрунту 0–20 см < 20–25 мм, або у шарі 0–50 см < 60–70 мм на момент сівби то застосування вологоутримувача є доцільним. Причому за доступності < 60 мм продуктивної вологи в шарі 0–100 см на час сівби – висока ймовірність дефіциту вологи в період вегетації. Також слід враховувати що критичним є запас вологи < 80 мм на ґрунтах легкого гранскладу (суглинки, супіски). Водночас за доступності 120 мм вологи та більше застосування гідрогелю малоефективне.

Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) також є критичним фактором до визначення потреби застосування вологоутримуючих матеріалів здатним забезпечити виробничнику швидке прийняття рішень без потреби визначення та аналізування запасів продуктивної вологи (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2

Гідротермічний коефіцієнт та його вплив на рішення застосування гідрогелю

Фаза / період	Порогове значення ГТК	Інтерпретація	Рішення
Посів – 6 листків	ГТК < 0,7	Високий ризик посухи	Вносити гідрогель
6–12 листків	ГТК < 0,6	Критичний дефіцит вологи	Обов'язкове застосування
Волоть – наливання зерна	ГТК < 0,8	Недостатньо вологи	Можна застосовувати, але менше ефективно
Оптимально	ГТК 0,9–1,2	Збалансована вологозабезпеченість	Гідрогель не потрібний

Фази 6–12 листків – це період найвищої чутливості кукурудзи до посухи, де гідрогель може дати найбільший ефект.

Гідрогелі доцільно застосовувати, якщо прогнозується дефіцит опадів у травні–червні, очікується різке підвищення температури (>28–30 °С) на початку вегетації, відсутні значущі запаси вологи після зими, зима була малосніжною. У подібних сценаріях застосування гідрогелю суттєво підвищує стабільність урожаю.

Найефективніше гідрогелі працюють на супіщаних та піщаних ґрунтах, ґрунтах із низьким вмістом гумусу (<2 %), легких та середніх суглинках на передгірних територіях, ґрунтах із низькою водоутримувальною здатністю. Менш ефективні на чорноземах важких, структурних, ґрунтах з гумусом >3,5 % та ділянках зі стабільною глибиною ґрунтових вод.

Також гідрогель буде корисним, якщо попередник залишив низькі запаси вологи (соняшник, соя), сівба проводиться в ранні строки в сухий період та сівба запланована після затяжної весняної вітрової погоди.

Застосування вологоутримувача є доцільним, якщо спостерігається слабка енергія проростання через сухий шар ґрунту з яким контактує насіння, уповільнений ріст кореня при температурі ґрунту 8–12 °С, низька польова схожість та зріджені сходи, ранні симптоми водного стресу (скручування листків, пригнічення росту у фазі 3–5 листків).

Застосування гідрогелю виправдане, якщо гарантований прибуток >5–6 тис. грн/га, очікуваний приріст урожайності > 0,4–0,6 т/га, норма гідрогелю не перевищує 50 кг/га (економічно обґрунтована межа), вирощування ведеться у групі ризику за ГТК (<0,7).

Якщо виконуються 2 або більше умов, застосування гідрогелю рекомендоване: продуктивна волога 0–20 см < 25 мм; продуктивна волога 0–50 см < 60 мм; ГТК на період посіву < 0,7; прогноз посухи на травень–червень; легкі ґрунти / супіски / низький гумус < 2 %; попередник – соняшник, соя; ранні строки сівби в сухий ґрунт;

У таких умовах гідрогель забезпечує найвищий ефект на кожну вкладену гривню та одиницю енергії.

Показники схожості та густоти гібридів кукурудзи залежно від впливу факторів дослідів в середньому за роки досліджень подано в таблиці 3.3-3.5.

Польова схожість в 2023 році визначалась умовами вологозабезпечення верхніх шарів ґрунту та гранулометричним його складом (якістю передпосівної підготовки). В середньому по досліді польова схожість була 85,6 %, а кращі варіанти досліді мали 85,6-85,9 %.

Наявність достатніх запасів ґрунтової вологи в шарі 0-20 см сприяла формуванню дружніх сходів. В результаті закладання досліді, на час повних сходів, густина рослин за збільшення норми застосування вологоутримувача також підвищувалась і кращі варіанти забезпечували 70,9-71,3 тис. шт.га рослин.

**Схожість та густина кукурудзи залежно від впливу факторів дослідів,
2023 р.**

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Полюва схожіст ь, %	густот а повні сходи	густина на час збиранн я
Контроль, без обробки кріопротекторо м	Без вологоутримувача	85,4	57,9	53,6
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	85,7	59,5	55,2
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	85,8	59,6	55,0
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	86,0	60,4	55,9
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	86,1	61,4	57,0
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача	85,0	66,3	61,5
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	85,2	67,3	62,4
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	85,3	68,3	63,4
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	85,6	71,0	65,3
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	85,6	71,1	65,5
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	Без вологоутримувача	85,2	64,6	60,0
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	85,4	67,5	62,8
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	85,5	68,5	63,7
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	85,8	71,2	65,4
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	85,9	71,3	65,9
НІР _{0,05}		5,6	4,3	5,5

Як свідчать результати визначення передзбиральної густоти посівів кукурудзи в 2023 році нам вдалось вийти на заплановані значення з незначними відхиленнями густот в меншу або більшу сторону.

**Схожість та густина кукурудзи залежно від впливу факторів дослідів,
2024 р.**

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Польова схожість, %	густина повної сходи	густина на час збирання
Контроль, без обробки кріопротекторо м	Без вологоутримувача	84,3	58,5	54,2
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	84,8	59,7	55,4
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	84,7	59,5	55,0
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	84,6	60,3	55,9
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	85,0	61,2	56,9
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача	83,8	66,3	61,5
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	84,4	67,6	62,6
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	84,3	68,4	63,4
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	84,2	71,0	65,3
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	84,5	71,0	65,3
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	Без вологоутримувача	84,0	64,6	60,0
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	84,6	68,1	63,3
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	84,5	68,9	64,0
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	84,4	71,5	65,7
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	84,8	71,5	66,0
НІР _{0,05}		3,8	4,6	4,0

Польова схожість в 2025 році визначалась умовами вологозабезпечення верхніх шарів ґрунту та гранулометричним його складом (якістю передпосівної підготовки). В середньому по досліді польова схожість була 84,5 %, а кращі варіанти дослідів мали 85,0 %.

Наявність достатніх запасів ґрунтової вологи в шарі 0-20 см сприяла формуванню дружніх сходів. В результаті закладання досліду, на час повних сходів, густота рослин за застосування вологоутримувача також підвищувалась і кращі варіанти забезпечували 71,4-71,5 тис. шт./га рослин.

В умовах 2024 року на час повних сходів, густота рослин за застосування вологоутримувача також підвищувалась і кращі варіанти забезпечували 71,4-71,5 тис. шт./га рослин. А за 2024 рік досліджень середнє значення виживання рослин склало 91,3 %.

В процесі росту та розвитку певна частина рослин кукурудзи втрачалась за рахунок ушкодження шкідниками та хворобами, впливу несприятливих умов навколишнього середовища (дефіциту опадів, теплових стресів – заморозків, підвищених температур повітря) та за рахунок знищення технічними засобами за допомогою яких виконували агротехнічні операції по догляду (підживлення рослин, обробка пестицидами, тощо).

Польова схожість та подальша густота рослин є критично важливими показниками для формування продуктивності кукурудзи, оскільки визначають потенціал площі живлення, інтенсивність використання ресурсів середовища та загальну рівномірність агрофітоценозу. У 2025 році ці показники істотно варіювали під впливом досліджуваних факторів, а також у зв'язку зі специфічними гідрометеорологічними умовами вегетаційного періоду.

Весна 2025 року характеризувалася пониженими температурами у першій половині квітня, що сповільнювало проростання, різкими коливаннями температури в другій половині квітня, що впливало на енергію проростання, значним дефіцитом опадів у травні, який спричинив часткове зрідження рослин у фазах 2–5 листків. Ці фактори зумовили зниження польової схожості у контрольному варіанті до 88 %, а густота рослин перед збиранням становила 56 тис./га, що на 3–4 тис./га менше середньобагаторічних значень.

**Схожість та густина кукурудзи залежно від впливу факторів досліду,
2025 р.**

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Польова схожість, %	густина повні сходи	густина на час збирання
Контроль, без обробки кріопротекторо м	Без вологоутримувача	88	61	56
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	89	62	57
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	90	63	58
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	92	64	59
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	93	65	60
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача	90	63	58
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	91	64	59
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	92	65	60
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	94	66	61
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	95	67	62
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	Без вологоутримувача	92	64	59
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	93	65	60
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	94	66	61
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	95	67	62
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	96	68	63
НІР _{0,05}		7,0	5,9	6,0

Застосування гідрогелю AQUASORB позитивно вплинуло на формування густоти рослин. Зі зростанням норми внесення гідрогелю відзначалося поступове збільшення польової схожості: 50 кг/га – 89 %; 100 кг/га – 90 %; 150 кг/га – 92 %; 200 кг/га – 93 %

Кількість сходів збільшувалась на 1–4 тис. рослин/га порівняно з контролем, що є наслідком здатності гідрогелю утримувати вологу в посівному шарі та стабілізувати водний режим проростків.

Перед збиранням густина зберігалася на рівні 57–60 тис./га, причому варіант із 200 кг/га гідрогелю забезпечив найменші втрати густоти в умовах літньої посухи.

Обробка посівів кріопротектором після низькотемпературного стресу сприяла підвищенню схожості до 90–95 %, кращому відновленню ростових процесів після короткочасних весняних знижень температур. Густина рослин на сходах зростала у середньому на 2 тис./га порівняно з відповідними варіантами без препарату.

Комбінування АМАЛГЕРОЛУ з гідрогелем забезпечувало найвищі результати: густина перед збиранням досягала 62 тис./га, що свідчить про покращену адаптаційну здатність рослин у період літнього водного стресу.

Передпосівна інкрустація насіння АМАЛГЕРОЛОМ забезпечила максимальний ефект серед усіх варіантів дослідів, що узгоджується з даними 2024 року. У цьому варіанті відзначено найвищу схожість – 92–96 %, густоту на сходах – 64–68 тис./га, густоту перед збиранням – 59–63 тис./га. Переваги способу зумовлені прискоренням розвитку первинних коренів, підвищеною стійкістю проростків до дефіциту вологи, зменшенням втрат рослин на ранніх фазах органогенезу.

При сумісному застосуванні АМАЛГЕРОЛУ і гідрогелю AQUASORB (150–200 кг/га) рівень густоти перед збиранням був максимальним у досліді – 62–63 тис./га. У контрольному варіанті втрати становили 5 тис./га через посуху в період “V12–V15”, термічний стрес у липні, різке зниження доступної вологи у фазу формування генеративних органів. У варіантах з гідрогелем втрати були меншими – 3–4 тис./га, а при поєднанні з кріопротектором – найнижчими (2–3 тис./га).

Схожість та густина кукурудзи у 2025 році значною мірою визначалися посушливими умовами та температурними коливаннями ранньої весни. А

використання гідрогелю AQUASORB позитивно впливало на польову схожість і вирівняність сходів, забезпечуючи стабільнішу густоту рослин. Кріопротектор АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС компенсував ефекти стресу, підвищував виживання рослин та зменшував втрати густоти.

Найефективнішим було поєднання передпосівної обробки насіння АМАЛГЕРОЛОМ і високих норм AQUASORB, що забезпечило найвищі рівні схожості (до 96 %) і густоти перед збиранням (до 63 тис./га).

Показники тривалості настання фаз розвитку кукурудзи залежно від впливу факторів дослідження подані в таблиці 3.6.

В умовах 2023 та 2024 років тривалість фенологічної фази від появи сходів до третього листка суттєво залежала від застосування саме кріопротектора, що сприяло прискоренню проходження рослинами на 1-2 доби цього періоду швидше. Аналогічно й в наступні фази по 7-й листок було спостережено більш активний ріст оброблених кріопротектором рослин кукурудзи, що на нашу думку викликано фізіологічно кращим рівнем захисту рослин від впливу низьких температур повітря. В подальшому ми спостерігали відсутність відмінностей по варіантах застосування кріопротектора.

Розвиток рослин кукурудзи у 2025 році суттєво залежав від гідротермічного режиму, який характеризувався неоднорідним і загалом стресовим впливом на початкові та генеративні фази росту. Дефіцит опадів у травні–липні, підвищені температури в період інтенсивного листоутворення та прохолодні умови ранньої весни значною мірою визначили тривалість переходу рослин від однієї фази розвитку до іншої.

У контрольному варіанті тривалість появи сходів становила 12 діб, що зумовлено низькими нічними температурами у першій декаді квітня та недостатнім прогріванням посівного шару ґрунту. Застосування гідрогелю AQUASORB сприяло скороченню цього періоду до 10–11 діб, що пояснюється стабілізацією вологоутримання у ґрунті, зменшенням температурних коливань у посівному горизонті, поліпшенням умов набухання насіння та енергії проростання. Найшвидші сходи (9 діб) відмічено при передпосівній

обробці насіння АМАЛГЕРОЛОМ у поєднанні з AQUASORB, оскільки кріопротектор стимулює початкову активність ферментативних систем та розвиток первинного кореня.

Перехід від фази сходів до формування 7-го листка у 2025 році відбувався уповільнено у контрольному варіанті – 27 діб, що пов'язано з посухою у травні, підвищеним рівнем сонячної радіації та недостатньою забезпеченістю вологою.

Гідрогель поліпшував водний режим кореневої зони рослин, тому тривалість фази зменшувалась до 24–25 діб. У варіантах з АМАЛГЕРОЛОМ розвиток прискорювався ще на 1–2 доби, що може бути пов'язано з покращенням фотосинтетичного апарату та прискореним відновленням клітинного метаболізму після температурного стресу. Найкоротша тривалість (23 діб) спостерігалась у варіантах із сумісним використанням передпосівної обробки та 150–200 кг/га AQUASORB.

Фаза “15-й листок” (43–48 діб) є ключовою для визначення потенціалу врожайності, оскільки охоплює період інтенсивного листоутворення. У контрольному варіанті тривалість становила 48 діб, що на 3–4 доби більше, ніж у варіантах з технологічними обробками. Дефіцит опадів у травні–червні затримував ріст рослин і подовжував цю фазу.

Застосування AQUASORB скоротило її до 45–46 діб, а АМАЛГЕРОЛ, особливо передпосівний, – до 43–44 діб, що свідчить про більш гармонійний і невибірковий розвиток листкового апарату в умовах зменшеного стресового тиску.

Умови червня 2025 року (висока температура, різкі зміни вологозабезпечення) стали критичними для переходу рослин до фази цвітіння. У контролі тривалість досягала 63 діб через уповільнення розвитку частини рослин, нерівномірність ростоутворення та зниження темпу накопичення біомаси.

Таблиця 3.6

Тривалість настання фаз розвитку кукурудзи залежно від впливу факторів досліду, середнє 2023-2025 р., діб

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Фаза розвитку										
		сход и	3-й листо к	5-й листо к	7-й листо к	9-й листо к	15-й листо к	Поява волог і	Цвітінн я волоті	Цвітінн я качана	Молочна стигліст ь	Повна стигліст ь зерна
Контроль, без обробки кріопротекторо м	Без вологоутримувача	12,7	14,7	22,3	28,0	31,0	49,3	19,0	11,7	17,7	41,0	46,0
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	12,3	14,3	22,0	27,7	30,7	49,0	19,0	11,7	17,7	41,0	46,0
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	12,3	14,0	21,7	27,7	30,3	48,7	19,0	11,7	17,7	41,0	46,0
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	12,3	14,0	21,7	27,3	30,7	48,3	19,3	12,0	17,7	41,7	46,7
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	12,3	14,0	21,7	27,0	30,0	48,0	19,0	11,7	17,7	41,0	46,3
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача	12,3	13,7	21,3	27,0	30,7	50,0	20,0	12,0	17,7	42,0	46,7
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	12,3	13,3	21,0	26,7	30,3	49,7	20,0	12,0	17,7	42,0	46,7
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	12,3	13,3	21,0	26,7	30,3	49,3	20,0	12,0	17,7	42,0	46,7
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	12,3	13,0	20,7	26,3	30,0	49,0	20,3	12,3	17,7	42,7	47,3
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	12,3	13,0	20,7	26,0	29,7	48,7	20,0	12,0	17,7	42,0	46,7
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	Без вологоутримувача	12,3	12,7	21,0	26,0	29,7	49,0	21,3	12,0	17,7	43,0	47,3
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	12,3	12,3	21,0	26,0	29,3	49,0	21,3	12,0	17,7	43,0	47,3
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	12,3	12,3	21,0	26,0	29,0	48,7	21,3	12,0	17,7	43,0	47,3
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	12,3	12,0	20,7	26,0	29,0	48,3	21,7	12,3	17,7	43,7	47,7
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	12,3	12,0	20,7	25,7	28,7	48,0	21,3	12,0	17,7	43,0	47,0
НІР _{0,05}		1,1	1,0	1,3	1,5	1,4	2,0	1,1	0,7	1,2	2,2	2,4

У варіантах із гідрогелем та АМАЛГЕРОЛОМ показник скоротився до 58–60 діб, що демонструє підвищення стресостійкості, стабільність водного режиму та прискорення формування генеративних органів.

Посухи липня–серпня вели до прискорення генеративного розвитку рослин. У контрольному варіанті спостерігалось до 80 діб досягнення молочної стиглості, що на 2–3 доби довше, ніж у гідрогельних варіантах.

У варіантах з АМАЛГЕРОЛОМ, особливо на фоні AQUASORB 150–200 кг/га, молочна стиглість наставала на 75–76 добу, що демонструє більш збалансований фізіологічний стан рослин і ефективніше функціонування асиміляційної поверхні.

Тривалість вегетаційного періоду залежала від стану рослин у фазі наливу зерна і від рівня збереження фотосинтетичного потенціалу. У контрольному варіанті повна стиглість наставала лише на 115 добу, що свідчить про уповільнення дозрівання через нерівномірність розвитку та значний вплив посухи на частину рослин. У технологічно оброблених варіантах: AQUASORB скорочував тривалість до 111–112 діб; АМАЛГЕРОЛ у поєднанні з гідрогелем – до 108–110 діб. Саме ці варіанти забезпечували найвищу рівномірність дозрівання та кращі умови для накопичення сухої речовини в зерні.

Погодні умови 2025 року загалом подовжували ранні фази розвитку та прискорювали пізні, що є типовою реакцією кукурудзи на поєднання холодної весни та посушливого літа. Гідрогель AQUASORB стабілізував вологість ґрунту у критичні фази розвитку, що сприяло скороченню тривалості фаз на 1–3 доби. АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС значно підвищував адаптивність рослин до стресових умов і сприяв оптимізації темпів розвитку. Найкращі результати (мінімальна тривалість та найгармонійніший перехід між фазами) забезпечила комбінація передпосівної обробки насіння АМАЛГЕРОЛОМ та максимальної норми AQUASORB.

2023 рік характеризувався класичною для Правобережного Лісостепу моделлю розвитку кукурудзи. Сівба була проведена в оптимальні строки,

грунт мав достатній запас вологи, а температурні умови впродовж перших фаз розвитку були близькими до середньорічних. До основних особливостей року можна віднести те що сходи формувалися за 12 діб, що відповідає нормі при температурі ґрунту 9–11 °С. Вегетативні фази (3–15 листків) проходили рівномірно, без затримок. Фаза 15 листків тривала 17 діб, що є типовим показником для року без сильних коливань вологи. Поява волоті – через 23 доби після фази 15 листків, що відповідає генетично запрограмованому темпу розвитку гібрида.

Генеративні фази проходили з мінімальними відхиленнями, зокрема цвітіння волоті – 3 доби, цвітіння качана – 2 доби, молочна стиглість – 22 доби, повна стиглість – 13 діб.

В 2024 році була прохолодна весна, швидке літо тому спостерігався збалансований розвиток рослин. Проте, 2024 рік мав дві чіткі хвилі погодних умов: холодний та дещо вологий старт весни, що спричинив легке подовження ранніх фаз та різке потепління у червні, що прискорило перехід до генеративного розвитку. У результаті фенологічні фази мали мінімальні коливання відносно 2023 року, але з невеликим трендом до стискання в середині вегетації.

Сходи тривали 14 діб – на 2 доби довше за 2023 р., через нижчу температуру ґрунту. 3–7-й листок формувалися за 6–9 діб – типовий темп при стабільному забезпеченні вологою. Фаза 15 листків тривала 18 діб, що дещо довше норми – через хвильові коливання температур. Поява волоті наступала на 1–2 доби раніше, ніж у 2023 році, оскільки червень був тепліший.

Генеративні фази були триваліші, ніж у 2023 році: цвітіння волоті – 5–6 діб, молочна стиглість – 19–21 доба, повна стиглість – 12–14 діб. Це вказує на компенсаторну поведінку рослин: після повільного старту вони збільшували тривалість генеративних процесів, що позитивно вплинуло на синтез сухої речовини зерна.

Натомість 2025 рік є фенологічно контрастним і екстремальним, що підтверджується мінімальними запасами продуктивної вологи, низьким ГТК у

квітні–липні, тривалими періодами спеки. Ці умови спричинили різке подовження всіх вегетативних фаз, а також суттєве порушення динаміки переходу до генеративного розвитку.

Сходи тривали 11–12 діб, що є типовим за сухого посівного шару. Формування 3-го листка завершувалося на 14–16-ту добу від сівби, 5-го – на 21–23-тю, 7-го – на 26–28-му, 9-го – на 29–31-шу, а фази 15-го листка рослини досягали на 47–49-ту добу. Подовження вегетативних фаз порівняно з 2023 роком становило лише 1–3 доби і було зумовлене дефіцитом вологи у травні–червні та підвищеним температурним фоном.

Поява волоті відбувалася дещо раніше, ніж за сприятливих умов, що є типовою ознакою адаптивної реакції на посуху – рослина прискорено переходить до репродуктивного розвитку. Цвітіння волоті тривало 3–5 діб, цвітіння качана наставало з незначним асинхронним зміщенням відносно волоті, молочна стиглість – на 74–76-ту добу, а повна стиглість зерна – на 111–115-ту добу від сівби, що відповідає закономірному скороченню періоду наливу зерна за умов посушливого літа.

Ранні фази росту і розвитку кукурудзи (сходи – 5-й листок) найшвидше проходили у 2023 р., помірно – у 2024 р. та найдовше – у 2025 р. (на 2–4 доби довше).

По тривалості вегетативних фаз (7-й – 15-й листки) у 2025 р. затримка становила лише 2–4 доби порівняно з 2023–2024 рр. Найменша різниця між 2023 і 2024 роками – 1–2 доби.

Перехід до генеративного розвитку у 2023 р. був класичний, рівномірний. У 2024 р. – плавний, з легким прискоренням, коли у 2025 р. – різко асинхронний, волоть формувалася на фоні незавершеного росту вегетативної маси.

Генеративні фази у 2025 році були найдовшими, що компенсувало часткову втрату продуктивного потенціалу. Найкоротші та найбільш узгоджені – у 2023 році.

Вегетаційний період був найкоротший та по суті оптимальний у 2023 році, 2024 – середній, а у 2025 – найдовший, із подовженням ранніх фаз на 2–4 доби.

Отже, тривалість фаз розвитку кукурудзи прямо залежить від забезпечення вологою та температурного режиму. Так, 2023 та 2024 роки були із мінімальними коливаннями в темпі розвитку. 2025 рік був екстремально посушливим, що призвело до рекордного подовження майже всіх фаз. Найсильніше посуха вплинула на фази: 5–15 листків, цвітіння качана, налив зерна. Генеративний розвиток у 2025 р. був порушений і асинхронний, що відповідає стратегії виживання рослин.

3.2. Фотосинтетичні параметри кукурудзи залежно від факторів досліду

На наступному етапі нашої роботи важливим питанням було встановлення біометричних показників росту та розвитку рослин кукурудзи залежно від факторів впливу.

Інтенсивність формування рослинами кукурудзи площі листової поверхні показує наскільки ефективно вони формують фотосинтетично активний апарат та можуть засвоїти достатні кількості сонячної енергії для забезпечення високого рівня продуктивності [13; 14; 15; 16].

Показники вивчення площі листя кукурудзи залежно від впливу факторів досліду висвітлені в таблиці 3.7.

Формування листової поверхні є одним із ключових показників, що визначають фотосинтетичний потенціал агрофітоценозу кукурудзи та здатність рослин забезпечувати належне накопичення сухої речовини впродовж вегетації [18; 21; 143; 145].

В умовах 2023 року в фазу появи 7-ми листків рослини кукурудзи в середньому по досліді утворили площу листя на рівні 5,2 тис м², що

абсолютно недостатньо для ефективного контролювання бур'янів та мінімізації втрат вологи з поверхні ґрунту шляхом випаровування. А отже, на ранніх етапах росту та розвитку кукурудзи в зв'язку з її повільним вегетативним ростом надземної частини слід багато уваги приділяти операціям по догляду за посівами.

А от уже в фазу появи 15-го листка в рослин кукурудзи загальна площа листя по досліді була на рівні 27,1 тис м², що цілком достатньо для ефективного контролювання агрофітоценозу та функціонування фотосинтетичного апарату рослин.

Досліджено, що в фазу цвітіння качана площа листя кукурудзи була максимальною порівняно з іншими періодами її росту та розвитку та в середньому по досліді становила 36,2 тис м². Відповідно максимальні параметри площі листя в кукурудзи були на варіантах застосування вологоутримувача та обробки рослин кріопротектором – 37,9-38,6 тис м².

В 2024 році в фазу появи 7-ми листків рослини в середньому мали площу листя на рівні 5,19 тис м², що абсолютно недостатньо для ефективного контролювання бур'янів та мінімізації втрат вологи з поверхні ґрунту шляхом випаровування. А отже, на ранніх етапах росту та розвитку кукурудзи в зв'язку з її повільним вегетативним ростом надземної частини слід багато уваги приділяти операціям по догляду за посівами.

В фазу появи 15-го листка в рослин кукурудзи загальна площа листя по досліді була на рівні 25,5 тис м², що цілком достатньо для ефективного контролювання агрофітоценозу та функціонування фотосинтетичного апарату рослин.

А в фазу цвітіння качана площа листя кукурудзи була максимальною порівняно з іншими періодами її росту та розвитку та в середньому по досліді становила 34,2 тис м². Відповідно максимальні параметри площі листя в кукурудзи були на варіантах застосування вологоутримувача та обробки рослин кріопротектором – 36,0-36,7 тис м².

**Площа листя залежно від впливу факторів досліду, середня за 2023-
2025 рр., тис м²**

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Фаза розвитку					
		сходи	7-й листок	15-й листок	Цвітіння качана	Молочна стиглість	Повна стиглість
Контроль, без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача	0,75	4,91	24,68	32,86	30,25	26,49
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	0,76	5,06	25,11	33,44	31,15	26,98
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	0,77	5,13	25,45	33,76	31,83	27,27
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	0,83	5,30	26,03	34,11	32,39	27,55
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	0,85	5,36	26,47	34,61	32,97	27,96
АМАЛГЕР ОЛ ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача	0,75	4,99	24,35	33,17	32,01	26,52
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	0,76	5,10	24,74	33,59	32,52	26,99
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	0,77	5,15	25,09	33,94	32,87	27,25
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	0,84	5,30	25,36	34,26	33,23	27,48
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	0,85	5,38	25,75	34,73	33,66	27,89
АМАЛГЕР ОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	Без вологоутримувача	0,83	5,10	25,36	34,95	33,03	27,25
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	0,83	5,21	25,76	35,50	33,55	27,66
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	0,84	5,27	26,12	35,86	33,90	27,95
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	0,89	5,39	26,46	36,17	34,29	28,26
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	0,93	5,51	26,85	36,67	34,69	28,69
НІР _{0,05}		0,02	0,10	0,38	1,0	1,1	0,6

У 2025 році біометричні параметри рослин істотно варіювали залежно від комплексу досліджуваних факторів та гідротермічних умов року, серед яких найвагомими були періодичний дефіцит опадів, підвищений температурний фон у травні–липні та короткі епізоди зволоження, які

позитивно позначилися на відновленні тургору в варіантах із застосуванням гідрогелю.

На час появи сходів площа листкової поверхні у всіх дослідних варіантах була незначною і коливалась у межах 0,75–0,90 тис. м². У порівнянні з 2024 роком ці значення є дещо нижчими, що зумовлено прохолодною погодою квітня 2025 року, яка стримувала темпи первинного росту.

Застосування гідрогелю AQUASORB у нормах 150–200 кг/га забезпечувало на 10–15 % більшу площу листя у фазі сходів порівняно з контрольним варіантом, що свідчить про поліпшені умови вологоутримання в кореневій зоні. Передпосівна обробка насіння АМАЛГЕРОЛОМ сприяла підвищенню показника на 3–5 %, що відображає стимуляцію початкового розвитку кореневої системи.

У фазі 7-го листка в рослин відмічено значне зростання асиміляційної поверхні – від 4,6 до 5,8 тис. м². Контроль без гідрогелю мав найменші значення (4,6 тис. м²), що пов'язано з поєднанням високої температури та дефіциту опадів у першій половині травня. AQUASORB 150–200 кг/га – найвищі показники (5,5–5,8 тис. м²), що підтверджує ефективність гідрогелю у зменшенні водного стресу.

АМАЛГЕРОЛ у різних способах внесення забезпечував стабільне збільшення площі листків на 0,2–0,3 тис. м² порівняно з відповідними гідрогельними варіантами без нього.

Погодні умови цієї фази – високі температури та короткочасні опади – сприяли швидкому наростанню листкової маси саме в варіантах із кращим забезпеченням вологою.

До фази 15-го листка розвиток листкової поверхні був найбільш інтенсивним. Показники коливалися від 22,8 до 26,6 тис. м², що загалом відповідає рівню 2024 року, але з дещо нижчими значеннями у контрольних варіантах. Найвищі показники відмічено за варіантів: AQUASORB 150–200 кг/га – 25,4–26,6 тис. м²; АМАЛГЕРОЛ + AQUASORB 200 кг/га – максимальне значення 26,6 тис. м²

Погодні умови червня 2025 року характеризувались: підвищеною температурою повітря, дуже нерівномірним розподілом опадів, гострим дефіцитом ґрунтової вологи наприкінці місяця. У результаті варіанти без гідрогелю демонстрували зниження показників до 22,8–23,8 тис. м², тоді як гідрогель частково компенсував водний стрес, забезпечуючи більш гармонійний ріст листків.

У фазі цвітіння качана площа листової поверхні становила 31,0–35,0 тис. м², що свідчить про стійке наростання асиміляційного апарату. Контроль без гідрогелю мав найнижчі значення (31,0 тис. м²), зумовлені високим рівнем атмосферної посушливості у другій половині червня. AQUASORB 200 кг/га формував найвищі значення (34,2–35,0 тис. м²), а внесення АМАЛГЕРОЛ у поєднанні з гідрогелем забезпечувало ефект посилення від 0,5 до 1,0 тис. м².

Цей період є критичним для формування генеративних органів, тому стабільність водного забезпечення рослин у гідрогельних варіантах позитивно відобразилась на розмірах асиміляційної поверхні.

У фазі молочної стиглості значення варіювали від 29,4 до 33,5 тис. м². Зниження площі листя порівняно з попередньою фазою є закономірним і пов'язане з фізіологічним старінням нижніх ярусів листків, посиленням посушливих явищ у липні, високими температурами, які пришвидшували перебіг фізіологічних процесів. Гідрогель у високих нормах разом із АМАЛГЕРОЛОМ сприяв збереженню тургору листків та уповільненню їх відмирання на 5–7 діб у порівнянні з контролем.

У фазі повної стиглості площа листової поверхні зменшувалась до 27,8–31,6 тис. м², що відповідає закономірному старінню рослин. Найнижчі значення спостерігались у контрольному варіанті через тривалий водний стрес липня–серпня. Застосування AQUASORB забезпечило підвищення площі листя на 10–12 %, збереження фотосинтетичного потенціалу на більш тривалий період, формування передумов для збільшення маси 1000 зерен та продуктивності.

Гідротермічні умови 2025 року були складнішими, ніж у 2024, із більш вираженим дефіцитом вологи в критичні фази росту кукурудзи. Наявність гідрогелю AQUASORB у нормі 150–200 кг/га значною мірою компенсувала водний стрес і забезпечувала найбільші значення листкової поверхні.

АМАЛГЕРОЛ, як після заморозків, так і при передпосівній обробці, сприяв кращому старту рослин та підвищенню стабільності ростових процесів у стресових умовах. Контрольні варіанти демонстрували значне зниження площі листкової поверхні, особливо в період липневої посухи.

В цілому, комбінований вплив кріопротектора та гідрогелю забезпечив найбільш сприятливі умови для формування потужного асиміляційного апарату та максимального продуктивного потенціалу кукурудзи.

Фотосинтетичний потенціал (ФП) є інтегральним показником, що характеризує здатність рослинної агроценозної системи акумулювати сонячну енергію за рахунок розвитку листкової поверхні протягом певного періоду. Він відображає не лише стан фотосинтетичного апарату, а й динаміку ростових процесів, чутливість рослин до стресових факторів та ефективність технологічних заходів.

Комплексний аналіз даних трирічної серії досліджень показав, що зміни ФП кукурудзи мають виражену системну закономірність, визначену поєднанням гідротермічних умов, інтенсивності росту листкової поверхні та технологічних прийомів (кріопротектор і гідрогель) (таблиця 3.8).

Порівняння ФП між роками виявило, що 2023 рік забезпечував стабільні й рівномірні значення ФП, що відповідає типовому розвитку кукурудзи за помірних умов. 2024 рік характеризувався помірно вищим ФП, особливо в середніх та пізніх фазах, через сприятливе водозабезпечення та тривалий період активного фотосинтезу. А 2025 рік, навпаки, дав системно знижений ФП через суворий дефіцит вологи, що пригнічував розгортання листкової поверхні та гальмував її приріст.

Фотосинтетичний потенціал (ФП), тис. м²·добу/га, середнє 2023-2025 р.

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Фаза розвитку					
		Сход и 7-й листок	7-15 листок	15-й листок - поява волоті	Поява волоті - Цвітіння качана	Цвітіння - Молочна стиглість	Молочна - Повна стиглість зерна
Контроль, без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача	42,5	330,0	566,8	179,9	704,8	161,7
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	42,9	336,0	577,2	182,5	712,9	162,5
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	43,2	339,4	583,4	184,4	718,0	163,4
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	46,1	350,0	594,8	187,0	726,8	165,0
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	47,1	355,0	602,9	189,4	733,2	166,8
АМАЛГЕРО Л ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача	42,5	328,4	564,3	182,4	724,8	162,2
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	42,9	333,8	572,0	184,0	731,7	163,0
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	43,2	336,4	577,0	185,5	738,0	163,8
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	46,5	343,6	584,7	187,8	744,5	165,0
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	47,1	348,2	592,4	189,7	751,1	166,2
АМАЛГЕРО Л ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	Без вологоутримувача	46,1	338,7	598,1	187,8	737,5	165,0
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	46,1	344,0	607,0	190,0	745,1	166,2
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	46,5	348,0	614,1	192,0	751,5	167,3
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	49,7	355,0	622,1	194,0	757,9	168,3
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	51,5	361,0	630,8	196,5	765,0	169,8

Загалом, у середньому за три роки найбільший внесок у ФП припадав на періоди цвітіння качана – молочна стиглість (≈45–48 % ФП), 15 листків –

викидання волоті ($\approx 30\text{--}33\%$ ФП) та 7 – 15 листків ($\approx 15\text{--}17\%$ ФП). Це підтверджує ключову важливість середини вегетації як фази максимального формування урожаю.

В період «Сходи – 7-й листок» ФП у середньому становив 40–50 тис. м²·добу/га. Внесок у загальний фотосинтетичний потенціал є відносно невеликим – лише 5–7 %. Різниця між роками була мінімальною, бо навіть у роки з дефіцитом вологи площа початкових листочків формується майже одноманітно. Отже початковий фотосинтетичний апарат стабільний і найменш залежний від зовнішніх умов.

В період «7-й листок – 15-й листок» ФП у середньому становив 330–360 тис. м²·добу/га. Це перший період, де проявляється залежність від водного режиму року. У 2024 р. ФП був найвищим, у посушливому 2025 р. – найнижчим. У варіантах з гідрогелем (AQUASORB 150–200 кг/га) ФП збільшувався на 8–10 % у 2023 р., 5–7 % у 2024 р. та до 15 % у 2025 р. (сильний компенсаторний ефект).

Період «15-й листок – поява волоті» є одним із двох критичних періодів формування урожаю. ФП досягав 560–630 тис. м²·добу/га, що становить третину всього потенціалу рослини. У варіантах з АМАЛГЕРОЛОМ та AQUASORB площа листкової поверхні в цій фазі була найбільша, що автоматично збільшувало ФП. А максимальні значення отримано за застосування: АМАЛГЕРОЛІ передпосівний + AQUASORB 200 кг/га – 630+ тис. м²·добу/га.

В період «Поява волоті – цвітіння качана» за короткої його тривалості (5,7 доби) ФП становив 180–200 тис. м²·добу/га. Внесок у загальний ФП – близько 10 %. У 2025 р. цей період був найслабшим, оскільки високі температури пригнічували стабільність фотосинтезу. Отже, це короткий, але дуже чутливий період до посухи – технології допомагали зменшити втрати ефективності фотосинтезу.

Період «Цвітіння качана – молочна стиглість» – пік фотосинтетичної продуктивності. Це найважливіший період у фізіології кукурудзи, оскільки

ФП становив 700–765 тис. м²·добу/га. Формувалося близько 45–50 % загального фотосинтетичного потенціалу рослини.

У 2023 р. ріст листової поверхні у фазі цвітіння та на початку наливу був максимально активний. А у 2025 р. ФП був знижений, але технологічні фактори (особливо комбіновані) повертали його до рівня сприятливих років. Отже, це період, коли технології найбільше “окупаються”, оскільки підсилення фотосинтезу тут дає пряме збільшення кількості зерен і маси 1000.

В період «Молочна – повна стиглість» ФП становив 160–170 тис. м²·добу/га. У цей час листові поверхні поступово відмирає, тому значення ФП зменшується. Значний вплив на ФП у цій фазі мають азотне живлення та стресостійкість.

Гідрогель (AQUASORB) у всі роки збільшував ФП, але у 2023 р. – приріст був помірним (6–8 %), у 2024 р. – стабільним (4–6 %), але без різких відмінностей а у 2025 р. – максимальним (до 18 %), через критичну нестачу води, яку компенсував гідрогель.

Кріопротектор АМАЛГЕРОЛ після заморозків відновлював роботу листового апарату і ФП зростав на 3–6 %. Передпосівна обробка насіння стимулювала раннє формування кореневої системи та вищі LAI у середніх і пізніх фазах. Приріст ФП становив 8–12 % у сприятливі роки та до 15 % у 2025 р.

Комбінація АМАЛГЕРОЛ обробка насіння + AQUASORB 150–200 кг/га бе був найпотужніший варіант у всіх роках за формування ФП. Адже отримано найбільший ФП в ключових періодах (особливо 15 л.–волоть та цв.к.–мол.), що в середньому на 20–25 % більше, ніж контроль.

Фотосинтетичний потенціал кукурудзи формується за закономірністю, де пік ФП припадає на період цвітіння качана – молочної стиглості ($\approx 1/2$ усього ФП). Другий за значенням період – 15-й листок – поява волоті ($\approx 1/3$ ФП).

Сприятливі роки (2023) забезпечують плавні, високі показники ФП. Посушливий 2025 рік різко знижує ФП, але технології істотно пом’якшують це зниження.

Найвищий сумарний ФП забезпечує поєднання АМАЛГЕРОЛ передпосівний + AQUASORB 150–200 кг/га.

Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) є ключовим інтегральним показником, що характеризує ефективність перетворення фотосинтетично активної радіації (ФАР) у приріст сухої речовини рослин.

На відміну від фотосинтетичного потенціалу (ФП), який оцінює лише розмір фотосинтезуючої поверхні, ЧПФ демонструє справжню фотосинтетичну продуктивність, тобто – скільки сухої речовини синтезовано на одиницю площі листя за одиницю часу.

За результатами трирічних досліджень встановлено чіткі, системні закономірності формування ЧПФ у залежності від кріопротекторної обробки (Амалгерол), норм вологоутримувача AQUASORB, фаз розвитку рослин, інтенсивності фотосинтетичного потенціалу (ФП) та фактичної урожайності зерна та вегетативної маси (таблиця 3.9).

У середньому по досліді ЧПФ змінюється закономірно і в період сходи – 7 листків» $\text{ЧПФ} = 8\text{--}12 \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{добу}^{-1}$. Це період інтенсивної активації фотосинтезу після проростання, тому листкова поверхня ще мала, але продуктивність фотосинтезу висока. ЧПФ у цей час сильно залежить від стану кореневої системи. А найвищі значення отримано у варіантах з передпосівним Амалгеролом (10,6–11,6).

В період 7 - 15 листків $\text{ЧПФ} = 8\text{--}11 \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{добу}^{-1}$. В цей час відбувається формування основного листкового апарату. ЧПФ зростає рівномірно, але помітно залежить від водного режиму. AQUASORB 50 кг/га стабілізує водний баланс та підвищує ЧПФ на 5–8 %.

В період 15 листків – викидання волоті $\text{ЧПФ} = 12\text{--}18 \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{добу}^{-1}$. Це найпродуктивніший вегетативний період розвитку рослин коли формується максимальна площа листкової поверхні. Приріст біомаси становить 26 % від загальної, а ЧПФ тут найвища за весь цикл у варіантах Амалгерол передпосівний + AQUASORB 50. Коли у контролі ЧПФ знижується до 12.9–13.5.

Таблиця 3.9

**Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ), г·м²·добу, середнє 2023-
2025 р.**

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Фаза розвитку					
		Сход и 7-й листок	7-15 листок	15-й листок - поява волоті	Поява волоті - Цвітіння качана	Цвітіння - Молочна стиглість	Молочна - Повна стиглість зерна
Контроль, без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача	8,22	8,21	13,30	12,72	7,78	10,46
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	8,42	8,36	13,53	12,88	7,90	10,56
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	8,23	8,20	13,27	12,61	7,73	10,42
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	8,17	8,05	12,89	12,35	7,54	10,21
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	8,21	8,09	12,96	12,41	7,58	10,26
АМАЛГЕРО Л ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача	8,83	8,76	14,10	13,26	8,17	11,00
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	9,22	9,05	14,58	13,70	8,42	11,29
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	9,02	8,95	14,37	13,55	8,31	11,13
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	8,57	8,46	13,56	12,83	7,86	10,64
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	8,57	8,46	13,56	12,83	7,86	10,64
АМАЛГЕРО Л ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	Без вологоутримувача	10,66	10,57	16,92	15,50	9,38	12,60
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	11,62	11,45	18,32	16,58	10,03	13,19
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	11,04	10,96	17,50	15,96	9,67	12,72
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	10,76	10,68	17,04	15,55	9,42	12,39
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	10,67	10,59	16,90	15,44	9,35	12,32

Період утворення волоті – цвітіння качана має ЧПФ = 12–17 г·м⁻²·добу⁻¹. В цей час відбувається формування репродуктивних органів а висока ЧПФ обумовлена синхронним ростом волоті, качана та пагонів. У варіантах із завищеними дозами AQUASORB (150–200 кг) ЧПФ трохи спадає (ймовірно через погіршення аерації ґрунту).

В період цвітіння – молочна стиглість ЧПФ = 7–10 г·м⁻²·добу⁻¹. Під час активного наливу зерна спостерігається висока залежність від азотного живлення і вологості. Амалгерол передпосівний + AQUASORB 50 забезпечують максимум ЧПФ = 10.03. У контролі ЧПФ падає до ~7.7–7.9.

В період молочна – повна стиглість ЧПФ = 10–13 г·м⁻²·добу⁻¹. Період максимального синтезу резервних речовин, переважно крохмалю. ЧПФ повторно зростає, але вже не до рівня середини вегетації. Найвищі значення ЧПФ спостерігаються у варіантах з Амалгеролом передпосівним (12.3–13.2).

Передпосівна обробка кріопротектором Амалгерол – найефективніша технологія в досліді . Так, у всіх 6 періодах ЧПФ вище, ніж у контролі, у післязаморозкової обробки та у будь-якого варіанту AQUASORB без Амалгеролу. Що пов'язано з тим що Амалгерол прискорює формування кореневої системи, підвищує активність хлоропластів, збільшує інтенсивність дихання зародкової тканини, покращує запуск фотосинтетичних реакцій. У результаті ЧПФ зростає на 15–25 % у ранні періоди та на 20–30 % у фазах активного наливу зерна.

Варіант використання AQUASORB 50 кг/га у всіх фазах забезпечує плюс 3–10 % до ЧПФ, коли за внесення понад 50 кг/га ефективність падає.

Причинами зниження ЧПФ при 150–200 кг/га можуть бути зниження аерації ґрунту та відносно охолодження кореневої зони через надмірне водонакопичення. А також сповільнення мінералізації азоту, що проявляється у фазах 15 листків та появи волоті. Усі ці процеси призводять до того, що ЧПФ при високих дозах AQUASORB стає нижчою, ніж при нормі 50 кг/га.

Найвищу сумарну ЧПФ протягом усього циклу має варіант поєднання передпосівної обробки насіння Амалгерол + AQUASORB 50 кг/га. Оскільки

на цьому варіанті спостерігаємо найшвидший старт фотосинтезу ($11.62 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{добу}^{-1}$), найвищий розвиток листкової поверхні, максимальну інтенсивність ЧПФ у період 15 листків – поява волоті (18.32) та максимальний темп синтезу крохмалю в кінці вегетації (13.19). Це найпродуктивніший фотосинтетичний профіль серед усіх варіантів.

Загалом ЧПФ зростає там, де підвищується площа листків (LAI), збільшується ФП (фотосинтетична поверхня), покращується водо– і азотний режим ґрунту, активуються хлоропласти (ефект Амалгеролу), інтенсифікується транспірація.

ЧПФ знижується там, де листки старіють або пошкоджені (посуха 2025 р.), гідратація кореневої зони надто висока (AQUA 150–200), азот недоступний у пікові фази.

3.3. Рівень впливу елементів технології на структурні показники врожаю кукурудзи

Структурні показники врожаю усіх без виключення сільськогосподарських культур є доволі важливими до вивчення, так як допомагають зрозуміти власне за рахунок яких елементів формується врожай в конкретному випадку вивчення варіантів дослідів. Аналізуючи праці інших вчених ми визначили що для кукурудзи важливими є питання визначення збиральної вологості зерна, маси 1000 насінин, виходу зерна з качана, довжини качана, кількості рядів зерен в качані, та кількості зерен в ряді качана [23; 24].

А отже, детальний аналіз усіх вищеназваних показників дозволить більш повно охарактеризувати особливості формування структури врожаю досліджуваними гібридами кукурудзи.

Параметри формування структури врожаю залежно від впливу факторів дослідів в 2023 році подано в таблиці 3.10.

**Структура врожаю кукурудзи залежно від впливу факторів дослідів, 2023
рр.**

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Рядів зерен, шт	Зерен у ряду, шт	Загальна кількість зерен / качан, шт.	Маса 1000 зерен, г	Маса зерна з качана, г
Контроль, без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача	16	34,8	557	258	110
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	16	34,2	547	257	111
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	16	34,7	555	256	112
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	16	32,8	525	252	108
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	16	34,0	544	254	109
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача	16	42,5	680	297	137
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	16	41,9	670	298	139
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	16	42,2	675	297	140
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	16	38,5	616	293	132
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	16	40,9	654	294	134
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	Без вологоутримувача	16	40,0	640	298	145
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	16	39,5	632	300	148
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	16	40,0	640	299	150
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	16	37,0	592	295	138
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	16	38,2	611	296	140
НІР _{0,05}		1	1,5	12	8	2

Структурний аналіз урожайності кукурудзи за 2023 рік показав чіткий вплив елементів технології на формування продуктивності рослин, насамперед на озерненість качана, кількість зерен у ряду та масу зерна з одного качана. Загальна тенденція 2023 року характеризується високою озерненістю качана, але помірною масою 1000 зерен порівняно з 2025 роком, що підтверджує вплив погодних умов періоду наливу зерна.

У контрольних варіантах (усі норми AQUASORB у схемі без Амалгеролу) кількість рядів зерен залишалася стабільною – 16, що характерно

для гібриду ДКС 4351 і свідчить про відсутність стресів у ранні фази формування качана.

Кількість зерен у ряду варіювала у межах 32,8–34,8 шт., що формувало загальну озерненість 525–557 зерен на качані. Значення маси 1000 зерен становили 252–258 г, що є типовим для середньорослих умов 2023 року. Відповідно, маса зерна з качана була найнижчою серед усіх варіантів – 108–112 г.

Це свідчить про те, що у 2023 році контрольні рослини формували повноцінну генеративну структуру, але їх потенціал наливу зерна був обмежений недостатнім рівнем водозабезпечення та температурними коливаннями у другій половині вегетації.

Обробка рослин Амалгеролом після ушкодження низькими температурами забезпечила суттєве зростання усіх показників структури врожаю. Кількість зерен у ряду зросла до 38,5–42,5 шт., загальна озерненість – 616–680 шт.. Маса 1000 зерен становила 293–298 г, а маса зерна з качана – 132–140 г, що на 20–30 % вище, ніж у контролі.

Це підтверджує ефективність Амалгеролу як антистресанта, який стимулює відновлення фотосинтетичної активності, синтез гормонів росту та генеративну продуктивність рослин. Вища реалізація озерненості свідчить про зниження абортатії зав'язі.

Передпосівна обробка Амалгеролом була найбільш ефективною технологією у 2023 році. Вона забезпечила найповніше формування структури качана у всіх варіантах норм AQUASORB. Встановлено такі закономірності: кількість зерен у ряду – 37,0–40,0 шт., загальна озерненість – 592–640 шт., маса 1000 зерен – 295–300 г, маса зерна з качана – 138–150 г – найвищі значення серед усіх варіантів року.

Передпосівна обробка забезпечила однорідну генеративну структуру з меншими коливаннями між варіантами, ніж післязаморозкова обробка. Це пояснюється тим, що препарат впливає на розвиток кореневої системи та фотосинтетичну активність у ранні фази розвитку, покращує засвоєння азоту

та формування оптимальної кількості квіток і зав'язей у качані. У підсумку це забезпечило максимальну масу качана та найстабільніші параметри структури врожаю.

Вплив вологоутримувача у 2023 році був менш вираженим, ніж у 2025, що пояснюється природнішою забезпеченістю вологою. Проте AQUASORB у нормі 50 та 100 кг/га забезпечував невелике, але стабільне підвищення озерненості – на 1,5–3 %. Вищі норми (150–200 кг/га) не давали додаткових переваг і навіть дещо зменшували масу 1000 зерен, що може бути пов'язано з локальним перезволоженням прикореневої зони та зменшенням аерації. Таким чином, у 2023 році оптимальною залишалася норма 50 кг/га, як і у 2025 році.

Структура врожаю кукурудзи у 2024 році формувалася під впливом поєднання помірно посушливих умов на початку літа, більш оптимальних показників температури у фазу цвітіння та обмеженого водозабезпечення у період наливу зерна. Це зумовило загальну тенденцію: нормальний розвиток качана й озерненості, але нижчу масу зерна, що відповідає загальному зниженню урожайності у 2024 році порівняно з 2023 р., і особливо з 2025 р. (таблиця 3.11).

У контролі кількість рядів зерен переважно залишалася постійною – 16 рядів, окрім варіанта AQUASORB 200 кг/га, де спостерігалось зниження до 14 рядів, що є ознакою стресових умов для рослин у період ініціації генеративних структур. Кількість зерен у ряду становила 25,5–27,5 шт., що в середньому нижче, ніж у 2023 та 2025 роках. Відповідно, загальна озерненість була нижчою – 374–440 зерен. Маса 1000 насінин – 234–240 г, що підтверджує слабший налив зерна. Маса зерна з качана становила лише 80–95 г, що є характерною ознакою зниження активності фотосинтетичного апарату в період формування сухої речовини зерна.

Таким чином, контрольні варіанти демонструють, що у 2024 році рослини постраждали від водного дефіциту у фазах 15 листків – налив зерна, що найбільше вплинуло на масу 1000 насінин та масу зерна з качана.

Структура врожаю кукурудзи залежно від впливу факторів досліді, 2024 рр.

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Рядів зерен, шт	Зерен у ряду, шт	Загальна кількість зерен / качан, шт.	Маса 1000 зерен, г	Маса зерна з качана, г
Контроль, без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача	16	27,5	440	240	95
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	16	26,9	430	239	92
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	16	27,4	438	238	95
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	16	25,5	408	234	82
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	14	26,7	374	236	80
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача	16	35,2	563	279	130
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	16	34,6	553	280	125
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	16	34,9	558	279	123
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	16	31,2	499	275	112
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	16	33,6	538	276	127
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	Без вологоутримувача	16	32,7	523	280	147
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	16	32,5	520	279	139
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	16	32,4	518	280	145
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	16	31,4	502	273	120
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	16	32,2	515	277	135
НІР _{0,05}		1	1,7	10	7	2

Незважаючи на те, що у 2024 році сильних весняних приморозків не було, застосування Амалгеролу після появи листкової маси позитивно вплинуло на структуру урожаю. Кількість зерен у ряду зросла до 33,6–35,2 шт., загальна озерненість – 499–563 шт., маса 1000 насінин – 275–280 г, маса зерна з качана – 112–130 г, тобто на 30–50 % вище, ніж у контролі. Таке зростання структурних елементів пояснюється тим, що Амалгерол: активізує метаболізм рослин, покращує синтез фітогормонів, які стимулюють ріст репродуктивних органів, знижує наслідки температурних коливань, підтримує роботу

кореневої системи за умов нестачі вологи. У результаті озерненість качанів у цих варіантах наближається до оптимальних значень для гібриду ДКС 4351.

Передпосівне внесення Амалгеролу продемонструвало найвищу стабільність і рівномірність формування елементів структури врожаю, аналогічно результатам 2023 і 2025 років. Кількість зерен у ряду – 31,4–32,7 шт., загальна озерненість – 502–523 шт., маса 1000 насінин – 273–280 г, маса зерна з качана – 120–147 г (найвищі значення в досліді).

На відміну від 2025 року, AQUASORB у 2024 році вплинув менш виражено, оскільки запаси доступної вологи в ґрунті були вищими на початку сезону. Так, доза 50 кг/га давала незначне зростання озерненості, доза 100 кг/га забезпечувала певну стабілізацію маси 1000 насінин, а дози 150–200 кг/га у контролі й Амалгеролі передпосівному призводили до невеликого зниження продуктивності у зв'язку з погіршенням аерації ґрунту, у післязаморозкових варіантах доза 200 кг/га несподівано дала кращі результати – ймовірно, через підсилений ефект підтримання водного режиму під час коротких періодів посухи. Таким чином, оптимальною залишається норма 50 кг/га, яка забезпечує позитивний ефект без небажаного надмірного вологозатримання.

Отже, у 2024 році найбільш ефективною технологією для формування структури врожаю кукурудзи була передпосівна обробка Амалгеролом, яка забезпечила найвищу масу зерна з качана та стабільні показники озерненості. Післязаморозкова обробка Амалгеролом значно підвищила озерненість качана, проте інколи поступалася передпосівній за масою зерна. Контрольні варіанти та високі норми AQUASORB демонстрували найнижчу продуктивну здатність, що відображає зниження фотосинтетичної активності та слабший налив зерна за умов обмеження вологи у другій половині вегетації.

У контрольному варіанті кількість рядів становила 13–14, що є типовим результатом для гібриду ДКС 4351 у стресовому році. Посушливі умови обмежували диференціацію генеративних тканин у фазі V8–V12, що призводило до меншої кількості потенційних рядів зерен.

Таблиця 3.12

**Структура врожаю кукурудзи залежно від впливу факторів дослідів,
2025 рр.**

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Рядів зерен, шт	Зерен у ряду, шт	Загальна кількість зерен / качан, шт.	Маса 1000 зерен, г	Маса зерна з качана, г
Контроль, без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача	13	24	312	285	81
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	14	25	350	290	92
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	14	24	336	295	86
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	13	23	299	285	78
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	13	23	299	287	79
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача	14	25	350	295	89
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	14	26	364	303	103
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	14	25	350	305	95
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	13	24	312	295	86
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	13	24	312	293	85
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	Без вологоутримувача	14	26	364	305	106
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	15	26	390	315	114
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	15	25	375	313	107
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	14	24	336	300	100
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	14	23	322	295	95
НІР _{0,05}		1	2	14	15	3

Застосування AQUASORB сприяло поступовому збільшенню цього показника – до 15 рядів у кращих варіантах, що можна пояснити стабілізацією водного режиму кореневої системи, більш повним забезпеченням асимілятами закладки качанів, зменшенням абортатії генеративних елементів.

Найвищі значення (15–15,4 рядів) отримано у варіантах із передпосівною обробкою АМАЛГЕРОЛОМ, що свідчить про підсилений розвиток репродуктивних тканин у ранній фазі.

У контрольних варіантах кількість зерен у ряду становила 23–24 шт, що відповідає впливу посухи в період пилювання та наливу зерна. За таких умов часто спостерігається неповне запилення рядів, часткова абортація зав'язей, зменшення потенціалу озерненості.

У технологічних варіантах кількість зерен у ряду зростала до 25–26, а максимальні значення (26 зерен) характерні для поєднання АМАЛГЕРОЛУ з АУАСОРВ у нормі 50 кг/га. Це свідчить про поліпшення синхронності цвітіння тичинкових і маточкових органів, кількості продуктивного пилю, стійкості до високих температур у період фертилізації.

Показник, який об'єднує ряди та зерна в ряду, у 2025 році мав широкий діапазон варіювання: 299–350 шт у контрольних варіантах; 364–390 шт у найефективніших варіантах застосування АМАЛГЕРОЛУ та АУАСОРВ.

Найнижчі значення зафіксовано у варіантах 150–200 кг/га АУАСОРВ у контролі та післязаморозковій схемі. Це підтверджує відому закономірність: надмірні норми гідрогелю можуть частково обмежувати доступну для рослин вологу в умовах дефіциту опадів, що негативно впливає на озерненість качана.

Найвища озерненість (390 зерен) отримана у варіанті АМАЛГЕРОЛ передпосівний + АУАСОРВ 50 кг/га, що свідчить про оптимальний баланс ростових процесів та ресурсного забезпечення качана протягом критичного періоду.

Гібрид ДКС 4351 характеризується потенційною масою 1000 зерен 280–320 г. У 2025 році, незважаючи на стрес, завдяки зниженій озерненості та перерозподілу асимілятів цей показник у контрольних варіантах становив 285–295 г. У технологічних варіантах значення зростали: 293–305 г – при внесенні АМАЛГЕРОЛУ після заморозків; 295–315 г – при передпосівній обробці насіння, особливо в комбінації з АУАСОРВ. Значення понад 320 г не фіксувалися, що відповідає паспортному потенціалу гібрида та реальному впливу посухи на налив зерна.

Маса зерна з одного качана є найбільш інтегральним показником структури врожаю. У таблиці значення коливаються в межах 81–106 г у

контрольних варіантах, 85-103 г у варіантах із застосуванням АМАЛГЕРОЛУ після заморозків, 95-114 г у варіантах передпосівної обробки АМАЛГЕРОЛОМ. Ці дані логічно узгоджуються з урожайністю 2025 року.

Максимальна маса зерна з качана – 114 г – за варіанту АМАЛГЕРОЛ передпосівний + AQUASORB 50 кг/га. Цей варіант найбільш ефективно компенсував стресові умови року, забезпечивши найвищу озерненість качана, найвищу масу 1000 зерен, мінімальну абортацію зерен.

Структура врожаю у 2025 році істотно погіршилася у контрольних та високо-стресових варіантах, що зумовлено посухою та високими температурами у фазі наливу зерна.

Застосування гідрогелю AQUASORB покращило озерненість качанів, але максимальний ефект спостерігався при помірній нормі (50 кг/га). А АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС, особливо як передпосівна обробка насіння, забезпечував суттєве збільшення рядів і зерен у ряду, покращення маси 1000 зерен, максимальні значення маси зерна з качана.

Поєднання АМАЛГЕРОЛ + AQUASORB у помірній нормі створило найсприятливіші умови для повноцінного наливу зерна в умовах 2025 року.

Погодні умови окремих років істотно відрізнялися, що дало змогу оцінити адаптивні механізми рослин у контрастних ситуаціях. Так, 2023 рік характеризувався найсприятливішими гідротермічними умовами в період диференціації генеративних органів і запилення, що забезпечило максимальну реалізацію структурного потенціалу гібрида. 2024 рік був помірно стресовим: початкова ґрунтова посуха та нестача вологи в період молочної стиглості призвели до зниження маси 1000 зерен та маси зерна з качана. 2025 рік, навпаки, став найбільш несприятливим через поєднання високих температур у фазу формування качана та дефіциту вологи під час наливу зерна, що проявилось найнижчими показниками структурних елементів.

У 2023 році кількість рядів зерен залишалася стабільною та відповідала генетичному потенціалу гібрида – 16 рядів у всіх варіантах. У 2024 році у стресових комбінаціях (передусім при підвищених нормах AQUASORB)

відзначено зменшення рядів до 14, що свідчить про порушення процесів закладання генеративних органів. Найбільш істотне зниження кількості рядів спостерігалось у 2025 році, коли контрольні варіанти формували лише 13–14 рядів, що є типовою реакцією на вплив високих температур і водного дефіциту у фазу V8–V12. Застосування Амалгеролу пом'якшувало негативний ефект, зберігаючи 14–15 рядів навіть у стресових умовах.

Ці показники виявилися найбільш чутливими до погодних умов років. У 2023 році кількість зерен у ряду досягала 40,0–42,5 шт., що формувало озерненість до 680 зерен на качані – максимальне значення серед усіх трьох років. У 2024 році цей показник зменшився до 31–35 шт., а загальна кількість зерен – до 499–563 шт., що відображає часткову абортацію зав'язі в період наливу зерна. Найгірші показники зафіксовано у 2025 році: у контролі кількість зерен у ряду становила лише 23–24 шт., що формувало озерненість 299–350 зерен, тобто вдвічі менше, ніж у сприятливому 2023 році. Встановлено, що передпосівна обробка Амалгеролом у всі роки забезпечувала найбільш повне формування генеративних структур, забезпечуючи до 15–25 % більше зерен у ряду, ніж контроль.

Маса 1000 зерен також істотно варіювала між роками та виявила характерні компенсаторні механізми рослин. У 2023 році цей показник був помірним (252–300 г), але стабільним, що свідчить про нормальний перебіг процесів наливу зерна. У 2024 році маса 1000 насінин знизилася до 234–280 г, що вказує на дефіцит вологи в критичний період. Водночас у 2025 році спостерігалось цікаве явище: незважаючи на зменшення озерненості, маса 1000 зерен зросла у середньому до 285–315 г, наближаючись до верхньої межі потенціалу гібрида. Це типова реакція рослин кукурудзи у стресових умовах, коли зменшення кількості зерен супроводжується збільшенням їх розміру через перерозподіл асимілянтів – «менше зерен, але крупніші».

Інтегральний показник маси зерна з качана найбільш чітко відображає погодні відмінності років. У 2023 році вона досягала 138–150 г у найкращих варіантах, що повністю відповідає урожайності понад 8 т/га. У 2024 році маса

зерна з качана знизилася до 120–147 г у оброблених варіантах та 80–95 г у контролі. У 2025 році фіксували найнижчі значення – 78–114 г, що прямо корелює з найнижчою урожайністю року та суттєвими стресовими впливами.

У всіх трьох роках найвищу ефективність продемонструвала передпосівна обробка Амалгеролом, яка стабілізувала формування качана, знижувала абортацію зав'язі та забезпечувала найбільшу масу зерна з одного качана незалежно від погодних умов. Обробка після заморозків була особливо ефективною у 2023–2024 рр., але мала менший вплив у екстремально посушливому 2025 р. Вологоутримувач AQUASORB забезпечував позитивний ефект у нормі 50 кг/га, тоді як підвищені норми (150–200 кг/га) не давали переваг, а інколи навіть знижували структурні показники через ризик локального перезволоження та погіршення аерації кореневої зони.

Порівняння трирічних даних показало, що формування структури врожаю кукурудзи є високочутливим до поєднання температурного режиму та забезпечення вологою у фазах від ініціації генеративних органів до наливу зерна. Найбільш продуктивні структурні параметри були сформовані у 2023 році – за найсприятливіших погодних умов. У 2024 році відбулася часткова редукація продуктивних елементів через нестабільний водний режим, а у 2025 році – істотна деградація структури качана внаслідок гострих абіотичних стресів. Усі три роки підтвердили ключову роль Амалгеролу як стабілізатора розвитку, а також ефективність вологоутримувача AQUASORB у помірних нормах. Таким чином, структурні ознаки врожаю кукурудзи у системі три-річних спостережень чітко узгоджуються з варіативністю погодних умов і є надійним індикатором реалізації генетичного потенціалу гібрида за різних технологічних і кліматичних ситуацій.

Висновки до розділу 3:

Узагальнення усереднених за роками досліджень показало, що ріст і розвиток рослин кукурудзи істотно залежать від поєднання застосування

кріопротектора та вологоутримувача, які впливають на формування морфобіометричних і фізіологічних показників протягом вегетації. Усереднення даних дозволило виокремити сталі реакції культури, що не залежать від специфіки окремих років і відображають загальні закономірності функціонування агроценозу.

У середньому за роки досліджень застосування кріопротектора сприяло покращенню стартового росту рослин, що проявлялося у збільшенні висоти рослин на 4–9 % порівняно з абсолютним контролем. Додаткове внесення вологоутримувача у помірних нормах (50–100 кг/га) забезпечувало подальше підвищення цього показника ще на 2–4 %, що свідчить про оптимізацію водного режиму кореневої зони та більш рівномірний перебіг ростових процесів.

Площа листової поверхні, як інтегральний показник інтенсивності асиміляційних процесів, за усередненими даними була найбільш чутливою до дії досліджуваних факторів. У варіантах із поєднанням кріопротектора та вологоутримувача 50 кг/га вона перевищувала контрольні значення на 8–15 %, що відповідає збільшенню асиміляційного апарату на 0,3–0,6 тис. м²/га. Подальше підвищення норми вологоутримувача до 150–200 кг/га не супроводжувалося істотним зростанням площі листової поверхні (приріст не перевищував 1–2 %), що вказує на досягнення фізіологічного оптимуму.

Усереднений аналіз біометричних параметрів розвитку підтвердив, що досліджувані фактори впливали переважно на інтенсивність росту та вирівняність рослин, а не на зміну архітектоніки стебла. Відхилення за основними лінійними показниками між варіантами перебували в межах біологічно допустимої мінливості, що свідчить про відсутність негативного морфорегуляторного ефекту навіть за комбінованого застосування препаратів.

Важливою узагальненою закономірністю є вплив досліджуваних факторів на стабільність формування ростових показників. Коефіцієнт варіації для більшості морфобіометричних параметрів у контрольному варіанті становив у середньому 15–17 %, тоді як у варіантах із застосуванням

кріопротектора в поєднанні з вологоутримувачем 50 кг/га він знижувався до 6–10 %, що свідчить про істотне підвищення екологічної стабільності росту рослин.

Застосування вологоутримувача у підвищених нормах (150–200 кг/га) не забезпечувало подальшого покращення середніх значень ростових показників і супроводжувалося зростанням їх варіабельності, що підтверджує наявність чітко вираженого оптимуму дії цього фактора та обмежену доцільність його надмірного використання.

Таким чином, усереднення багаторічних даних дозволяє зробити висновок, що найбільш сприятливі умови для формування вирівняних, морфологічно стабільних і фізіологічно повноцінних рослин кукурудзи створюються за поєднання кріопротектора з вологоутримувачем у нормі 50–100 кг/га, що забезпечує підвищення середніх ростових показників на 8–15 % та зниження їх варіабельності до рівня ≤ 10 %.

Розділ 4

УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ

Серед усіх досліджуваних показників урожайність є найбільш вагомим мірилом визначення ефективності застосовуваних елементів технології вирощування культури. Причому цю ознаку варто розглядати власне в контексті ідентифікації гібридо-орієнтованої технології вирощування, а не просто дослідження окремого елемента технології [151; 152; 153; 159; 160].

Відповідно встановлення особливостей гібридо-орієнтованої технології передбачає визначення закономірностей росту та розвитку і формування урожайності рослинами як в конкретних умовах років досліджень так і з огляду на середньо багаторічні значення [161; 162; 167; 168; 169].

Дані визначення урожайності зерна кукурудзи залежно від впливу факторів досліду по роках досліджень та в середньому наведено в таблиці 4.1.

Досліджено, що застосування кріопротектора в умовах 2023 року суттєво впливало на формування урожайності кукурудзи. Так, в цілому по досліду отримано 8,16 т/га зерна, при цьому на варіантах без внесення кріопротектора було 7,36 т/га, там де застосовували лише обробку кріопротектором по настанню заморозків було отримано урожайність в цілому 7,78 т/га, а обробка насіння сприяла формуванню 9,36 т/га зерна кукурудзи.

При цьому саме за застосування кріопротектора рослини кукурудзи гарно взаємодіяли з вологоутримувачем та на варіанті обробки АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння та внесення вологоутримувача AQUASORB, 200 кг/га урожайність становила 9,83 т/га, тобто була найбільшою в досліді.

В умовах 2024 року досліджень вплив факторів досліду дещо відрізнявся від попереднього року, особливо в контексті

Так, було підтверджено, що застосування кріопротектора суттєво впливало на формування урожайності кукурудзи. Адже, в цілому по досліду отримано 6,87 т/га зерна, при цьому на варіантах без внесення кріопротектора

було 5,99 т/га, там де застосовували лише обробку кріопротектором по настанню заморозків було отримано урожайність в цілому 6,52 т/га, а обробка насіння сприяла формуванню 8,10 т/га зерна кукурудзи.

Таблиця 4.1

**Урожайність зерна кукурудзи залежно від впливу факторів дослідів,
за 2023-2025 рр., т/га**

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	2023	2024	2025
Контроль, без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача	7,16	5,65	5,25
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	7,19	6,70	6,00
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	7,23	6,20	5,60
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	7,51	5,70	5,10
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	7,73	5,70	5,15
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача	7,56	6,20	5,80
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	7,60	7,40	6,70
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	7,64	6,90	6,20
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	7,94	6,10	5,60
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	8,16	6,00	5,50
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/га	Без вологоутримувача	9,10	7,60	6,90
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	9,14	9,20	7,40
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	9,19	8,30	6,95
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	9,55	7,80	6,50
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	9,83	7,60	6,20
НІР _{0,05}		0,20	0,14	0,16

При цьому саме за застосування кріопротектора рослини кукурудзи гарно взаємодіяли з вологоутримувачем та на варіанті обробки АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння та внесення вологоутримувача AQUASORB, 50 кг/га урожайність становила

9,20 т/га, тобто була найбільшою в досліді. А уже підвищення норми внесення вологоутримувача понад 50 кг/га призводило до зниження рівня урожайності по усіх варіантах досліді. Тобто, в умовах 2024 року, ми прослідкували чітку залежність, коли за дефіциту вологи в ґрунті більші норми вологоутримувача працювали в протилежному напрямку – утримуючи додаткову вологу і роблячи її недоступною для рослин. Причому, додатково слід вивчати питання чи це може бути пов'язано з недостатнім розвитком в рослин кукурудзи вторинної кореневої системи, щоб використати доступні рослинам кількості вологи з вологоутримувача. Однак, зниження урожайності понад контрольні варіанти (де вологоутримувач не вносили) ми не спостерігали.

Отже, в 2024 році спостерігались помірно стресові умови та середня урожайність знизилась до 6,87 т/га (-15,8% до 2023 року). Рік характеризувався холодною затяжною весною, нерівномірним розподілом опадів та періодичними посухами. Контрольні варіанти мали урожайність 5,65-6,70 т/га (середнє 5,99 т/га) а за умови застосування АМАЛГЕРОЛ після заморозків: 6,00-7,40 т/га (середнє 6,52 т/га) тоді ж як з передпосівною обробкою АМАЛГЕРОЛОМ: 7,60-9,20 т/га (середнє 8,10 т/га).

Максимальна урожайність (9,20 т/га) досягнута при передпосівній обробці з AQUASORB 50 кг/га. Помірні дози гідрогелю виявились оптимальними в умовах дефіциту вологи.

Тоді як 2025 рік приніс екстремальні стресові умови і середня урожайність становила лише 6,02 т/га (-26,2% до 2023 року). Рік відзначився критичною посухою в період наливу зерна, високими температурами липня-серпня. Тому контрольні варіанти сформували урожайність 5,10-6,00 т/га (середнє 5,42 т/га). Застосування АМАЛГЕРОЛ після заморозків забезпечило 5,50-6,70 т/га (середнє 5,92 т/га) а передпосівна обробка АМАЛГЕРОЛОМ: 6,20-7,40 т/га (середнє 6,79 т/га). Максимальна урожайність (7,40 т/га) при передпосівній обробці з AQUASORB 50 кг/га підтверджує ефективність помірних доз в екстремальних умовах.

Отримані результати свідчать, що урожайність зерна кукурудзи та її міжрічна стабільність визначалися не ізольованою дією окремих агроприйомів, а їх взаємодією, насамперед між фоном застосування кріопротектора та нормою вологоутримувача AQUASORB. При цьому чітко простежується нелінійний характер реакції культури, що проявляється у різному поєднанні абсолютного приросту урожайності та її стабільності за роками (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2

Приріст урожайності зерна кукурудзи до контролю, стабільності та коефіцієнта варіації (CV)

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Приріст до контролю, т/га	Приріст, %	SD	CV, %
Контроль, без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача	0,00	0,0	1,01	16,7
	AQUASORB, 50 кг/га	+0,61	+10,1	0,60	9,0
	AQUASORB, 100 кг/га	+0,32	+5,4	0,82	13,0
	AQUASORB, 150 кг/га	+0,08	+1,4	1,25	20,6
	AQUASORB, 200 кг/га	+0,17	+2,9	1,36	21,9
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача	+0,50	+8,3	0,92	14,2
	AQUASORB, 50 кг/га	+1,21	+20,2	0,47	6,5
	AQUASORB, 100 кг/га	+0,89	+14,8	0,72	10,4
	AQUASORB, 150 кг/га	+0,53	+8,7	1,23	18,8
	AQUASORB, 200 кг/га	+0,53	+8,9	1,41	21,6
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/га	Без вологоутримувача	+1,85	+30,7	1,12	14,3
	AQUASORB, 50 кг/га	+2,56	+42,5	1,02	11,9
	AQUASORB, 100 кг/га	+2,13	+35,3	1,13	13,8
	AQUASORB, 150 кг/га	+1,93	+32,1	1,53	19,3
	AQUASORB, 200 кг/га	+1,86	+30,8	1,83	23,2

У контрольному варіанті (без застосування кріопротектора) вологоутримувач проявляв обмежений компенсаторний ефект, спрямований переважно на згладжування негативного впливу посушливих або стресових умов окремих років. Найкращі результати отримані за внесення AQUASORB

у нормі 50 кг/га, де приріст урожайності до контролю становив понад 10 %, а коефіцієнт варіації знизився з 16,7 до 9,0 %. Це свідчить, що помірна доза гідрогелю забезпечує оптимізацію водного режиму ґрунту без порушення аерації кореневої зони.

Подальше підвищення норми вологоутримувача до 150–200 кг/га не лише не призводило до додаткового приросту урожайності, але й супроводжувалося різким зростанням варіабельності (CV понад 20 %). Така закономірність вказує на перевологування кореневого шару, зниження активності кореневої системи та посилення залежності рослин від міжрічних погодних коливань.

Фон застосування АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС після настання заморозків істотно змінював характер реакції культури. Уже без вологоутримувача спостерігалось зростання середньої урожайності та зменшення варіабельності порівняно з абсолютним контролем, що свідчить про захисний та відновлювальний ефект препарату щодо пошкоджених тканин.

Найбільш виразний синергетичний ефект зафіксовано у поєднанні з AQUASORB 50 кг/га, де приріст урожайності перевищував 20 %, а коефіцієнт варіації знижувався до 6,5 %, що є надзвичайно високим рівнем стабільності для польових умов. Це вказує на те, що кріопротектор і помірна норма гідрогелю взаємно підсилюють дію один одного, забезпечуючи одночасно захист рослин від температурного стресу та стабільне водопостачання в критичні фази розвитку.

За норм 150–200 кг/га вологоутримувача позитивний ефект кріопротектора нівелювався, що підтверджує наявність оптимуму водоутримання, перевищення якого призводить до зростання нестабільності урожаю навіть за наявності антистресових препаратів.

Найбільш виражений вплив на формування урожайності продемонструвала передпосівна обробка насіння АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС, яка забезпечувала приріст урожайності 30–43 % порівняно з абсолютним

контролем. Це свідчить про ключову роль стартових фізіолого-біохімічних процесів, закладених на етапі проростання та початкового росту рослин.

Поєднання передпосівної обробки з AQUASORB 50 кг/га було найбільш ефективним не лише за рівнем урожайності, але й за показниками стабільності: коефіцієнт варіації становив менше 12 %, що для інтенсивних технологій є дуже сприятливим показником. Це означає, що підвищення потенціалу рослин на ранніх етапах розвитку дозволяє їм ефективніше реалізовувати продуктивність за різних погодних сценаріїв.

Разом із тим, як і в інших фонах, підвищення норми вологоутримувача понад 100 кг/га призводило до зростання варіабельності та зниження стабільності, що підтверджує універсальність виявленої закономірності оптимальної дози.

Аналіз коефіцієнтів варіації дозволяє чітко класифікувати досліджувані варіанти за рівнем стабільності: високостабільні варіанти ($CV \leq 10\%$) – поєднання кріопротектора (особливо передпосівного) з AQUASORB 50 кг/га; середньостабільні ($CV 10\text{--}15\%$) – більшість варіантів із помірними агроприйомами; нестабільні ($CV > 18\text{--}20\%$) – варіанти з надмірними нормами вологоутримувача (150–200 кг/га).

Це дозволяє зробити принципово важливий висновок: максимальний урожай не завжди є найбільш стабільним, а технологічно оптимальними є варіанти, що поєднують помірний рівень інтенсифікації з високою екологічною пластичністю.

Отримані закономірності свідчать, що формування високої та стабільної урожайності зерна кукурудзи в умовах міжрічної мінливості клімату можливе лише за точного добору поєднання агротехнічних факторів. Ключовими елементами такої системи є передпосівна оптимізація фізіологічного стану рослин за допомогою кріопротектора та застосування помірних доз вологоутримувача, які забезпечують одночасно підвищення продуктивності й істотне зниження варіабельності урожаю. Надмірна інтенсифікація окремих елементів технології, зокрема перевищення оптимальних норм гідрогелю, не

лише не підвищує урожайність, але й знижує стабільність агроценозу, що є критично небажаним у сучасних кліматичних умовах.

Якість зерна кукурудзи поряд з її урожайністю надзвичайно важлива ознака, що визначає ефективність технології вирощування загалом. Адже на які цілі буде використовуватись вирощене зерно цілком і повністю залежить від показників якості.

Причому на параметри якості зерна напряду чинять вплив елементи технології вирощування культури. Попри те що гібриди мають біологічні норми якості час від сівби до реалізації рослинами своєї генетичної формули доволі значний, а тому елементи технології в значній мірі можуть вплинути на формування якості насіння кукурудзи.

Застосування науково обґрунтованих елементів технології вирощування кукурудзи передбачає не тільки проведення всіх технологічних операцій у встановлені строки а й відповідно до біологічних вимог рослин. Адже саме стабільному формуванню якості в першу чергу може перешкодити неконтрольований фактор – погода, який в тому числі впливає і на доступність елементів живлення рослинам кукурудзи та і інших елементів агротехніки. Здавалося б з точки зору агронома виконані вчасно усі агротехнічні операції, а от характер перебігу погодних умов вегетаційного періоду вносить свої корективи, що негативно позначається на стані посівів загалом та якості отримуваної продукції зокрема.

Важливими параметрами якості зерна кукурудзи на які слід звернути особливу увагу є вміст в ньому протеїну та крохмалю. Адже в переважній більшості кукурудза використовується для переробляння на харчові цілі, що й обумовлює наявність хороших показників якості.

Дані визначення якості зерна кукурудзи в 2023 році залежно від впливу факторів досліду, а зокрема вмісту протеїну та крохмалю наведено в таблиці 4.3.

Якість зерна кукурудзи залежно від впливу факторів досліді, 2023 р., %

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Вміст, % на абсолютну суху речовину		
		протеїн	крохмаль	жир
Контроль, без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача	9,73	72,98	4,4
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	9,89	73,40	4,5
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	9,78	73,21	4,5
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	10,02	72,90	4,3
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	10,00	72,86	4,3
АМАЛГЕРО Л ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача	9,71	73,30	4,6
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	9,82	74,20	4,7
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	9,95	74,12	4,7
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	10,18	73,01	4,5
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	10,20	73,11	4,5
АМАЛГЕРО Л ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	Без вологоутримувача	9,87	72,80	4,8
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	9,84	73,05	4,9
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	9,90	73,00	4,8
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	10,14	73,02	4,6
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	10,29	72,75	4,6

За результатами проведених досліджень встановлено, що в середньому по досліді вміст протеїну в зерні становив 9,95 % а крохмалю – 73,18 %. А максимальні значення вмісту протеїну в зерні були відмічені нами за застосування обробки насіння та рослин кріопротектором та внесення в ґрунт вологоутримувача – 10,29 %.

Параметри якості зерна кукурудзи в 2024 році залежно від впливу факторів досліді, а зокрема вмісту протеїну та крохмалю подані в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Якість зерна кукурудзи залежно від впливу факторів досліді, 2024 р., %

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Вміст, % на абсолютну суху речовину		
		протеїн	крохмаль	жир
Контроль, без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача	10,46	71,76	4,3
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	10,62	72,18	4,4
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	10,51	71,99	4,4
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	10,75	71,68	4,2
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	10,73	71,64	4,2
АМАЛГЕРО Л ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача	10,44	72,08	4,5
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	10,55	72,98	4,6
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	10,68	72,90	4,6
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	10,91	71,79	4,4
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	10,93	71,89	4,4
АМАЛГЕРО Л ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	Без вологоутримувача	10,60	71,58	4,7
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	10,57	71,83	4,8
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	10,63	71,78	4,7
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	10,87	71,80	4,5
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	11,02	71,53	4,5

Встановлено, що в середньому по досліді вміст протеїну в зерні становив 10,68 % а крохмалю – 71,96 %. Максимальні значення вмісту протеїну в зерні були відмічені нами за застосування обробки насіння та рослин кріопротектором та внесення в ґрунт вологоутримувача – 11,02 %.

Показники якості зерна кукурудзи в 2025 році залежно від впливу факторів досліді, а зокрема вмісту протеїну та крохмалю наведено в табл. 4.5.

Якість зерна кукурудзи залежно від впливу факторів досліду, 2025 р., %

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Вміст, % на абсолютну суху речовину		
		протеїн	крохмаль	жир
Контроль, без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача	9,0	70,2	3,8
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	9,1	70,5	3,9
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	9,2	70,4	3,9
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	9,0	70,1	3,8
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	9,0	70,0	3,8
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача	9,3	70,6	4,0
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	9,4	70,8	4,1
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	9,4	70,7	4,1
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	9,2	70,4	3,9
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	9,2	70,3	3,9
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	Без вологоутримувача	9,5	71,0	4,2
	Вологоутримувач AQUASORB, 50 кг/га	9,6	71,2	4,3
	Вологоутримувач AQUASORB, 100 кг/га	9,5	71,1	4,2
	Вологоутримувач AQUASORB, 150 кг/га	9,3	70,7	4,1
	Вологоутримувач AQUASORB, 200 кг/га	9,2	70,5	4,0

Якісні показники зерна кукурудзи у 2025 році формувалися під впливом як технологічних факторів досліду, так і гідрометеорологічних умов року, які характеризувалися істотним дефіцитом вологи у період наливу зерна, високими температурами у липні–серпні та пришвидшеними темпами дозрівання. За таких умов у всіх варіантах досліду спостерігалися закономірні зміни вмісту основних біохімічних компонентів зерна: зниження вмісту білка

та крохмалю порівняно з 2024 роком на тлі прискореного дозрівання. Разом з тим дія кріопротекторів і гідрогелю коригувала ці зміни, що дозволило частково стабілізувати параметри якості.

Погодні умови 2025 року зумовили зниження вмісту білка у зерні кукурудзи порівняно з минулим роком. Це пов'язано з критичним дефіцитом вологи в період наливу зерна, який порушував синтез і транслокацію азотистих сполук, а також із пришвидшеним дозріванням за високих температур, що скорочувало період активного накопичення запасних речовин. У контрольних варіантах вміст білка становив 9,0–9,1 %, що є типовим значенням для кукурудзи в умовах стресу.

Вплив гідрогелю та АМАЛГЕРОЛУ проявився у наростанні частки білка до 9,6 % у найефективнішому варіанті (передпосівна обробка + AQUASORB 50 кг/га). Це свідчить про покращення азотного живлення, довший період активного синтезу амінокислот, зниження деструкції білків у стресовий період.

Вміст жиру в зерні в усіх варіантах був нижчим, ніж у 2024 році. У середньому він коливався від 3,8 до 4,3 %. Зниження вмісту жиру у контрольних варіантах (3,8–3,9 %) обумовлено жаркими умовами періоду наливу зерна, недостатнім запасом вологи, зменшенням інтенсивності синтезу ліпідів у зародку. У варіантах з АМАЛГЕРОЛОМ вміст жиру підвищувався до 4,2–4,3 %, оскільки препарат стимулює біохімічні процеси у зародкових тканинах та краще зберігається листкова поверхня у другій половині вегетації.

Найвищий показник (4,3 %) у варіанті "АМАЛГЕРОЛ передпосівний + AQUASORB 50 кг/га" є типовим для гібрида ДКС 4351 у більш сприятливих умовах.

Вміст крохмалю в зерні за всіма варіантами був відносно високим – 70,0–71,2 %, що пояснюється швидким темпом наливу зерна на фоні високої радіації, переважною акумуляцією ендоспермних вуглеводів навіть за умов дефіциту вологи.

У контрольному варіанті показники становили 70,0–70,2 %, що демонструє незначне пригнічення фотосинтезу у фазі наливу. У варіантах із застосуванням АМАЛГЕРОЛУ передпосівно значення зростали до 71,0–71,2 %, що свідчить про повніший налив зерна, кращу роботу фотосинтетичного апарату, оптимальніший стан судинно-провідних тканин качана.

Гідрогель сприяв вирівняності показника, але найбільший ефект був саме від дії кріопротектора.

2025 рік характеризувався згущенням біохімічного складу зерна через посушливі умови, що проявилось у підвищенні вмісту білка та незначному зниженні жирності.

Агробіологічні препарати АМАЛГЕРОЛ та AQUASORB стабілізували процеси наливу зерна, що забезпечувало збереження жирності, підвищення крохмалистості, збільшення частки білка.

Найкращі результати отримано у варіантах передпосівної обробки насіння АМАЛГЕРОЛОМ, що узгоджується з покращенням структури врожаю та вищою продуктивністю рослин.

Контрольні варіанти за якістю зерна поступалися на 5–10 %, що підтверджує ефективність застосування препаратів антистресової та вологорегулюючої дії.

Трирічні дослідження (2023-2025 рр.) виявили значну варіабельність якісних показників зерна кукурудзи гібриду ДКС 4351, яка визначалася як погодними умовами років досліджень, так і впливом технологічних факторів – кріопротектора АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС та гідрогелю AQUASORB.

Вміст протеїну в зерні демонстрував чітку тенденцію до зростання в умовах посушливих років. У 2023 році середній вміст протеїну становив 9,95%, у 2024 році підвищився до 10,68%, а в екстремально посушливому 2025 році знизився до 9,3%. Це пояснюється концентраційним ефектом за умов водного стресу та зміною співвідношення синтезу структурних і запасних білків.

Вміст крохмалю показав зворотну динаміку: найвищі значення спостерігалися в 2023 році (73,18%), знизилися в 2024 році (71,96%) та стабілізувалися на рівні 70,6% у 2025 році. Така закономірність пов'язана з порушенням процесів асиміляції вуглеводів в умовах посухи та високих температур.

2023 рік характеризувався помірно вологими умовами з достатнім забезпеченням опадами у критичні фази розвитку кукурудзи, що створило сприятливі умови для накопичення крохмалю та формування збалансованого біохімічного складу зерна.

Максимальний вміст протеїну (10,29%) відмічено при передпосівній обробці насіння АМАЛГЕРОЛОМ у поєднанні з AQUASORB 200 кг/га. Це на 5,7% вище контролю, що свідчить про синергетичний ефект препаратів у покращенні азотного живлення рослин.

Найвищий вміст крохмалю (74,20%) зафіксовано при обробці АМАЛГЕРОЛОМ після заморозків з AQUASORB 50 кг/га. Це вказує на оптимізацію фотосинтетичних процесів та ефективний транспорт асимілятів до зерна.

Особливістю 2023 року була висока ефективність помірних доз гідрогелю (50 кг/га) у поєднанні з кріопротектором, що забезпечувало оптимальний водний режим без надмірного утримання вологи.

2024 рік відзначився складними погодними умовами з холодною весною, нерівномірним розподілом опадів та підвищеними температурами в період наливу зерна, що призвело до формування специфічного біохімічного складу.

Загальне підвищення вмісту протеїну порівняно з 2023 роком (на 0,73%) обумовлене стресовими умовами, які активували синтез стресових білків та знизили інтенсивність накопичення крохмалю. Максимальний показник (11,02%) досягнуто при передпосівній обробці з AQUASORB 200 кг/га.

Зниження вмісту крохмалю на 1,22% порівняно з 2023 роком пов'язане з порушенням процесів фотосинтезу та транслокації асимілятів в умовах

температурного стресу. Кріопротектор частково компенсував негативний вплив, підвищуючи крохмалистість на 0,5-1,3%.

Характерною особливістю року була підвищена варіабельність показників між варіантами, що свідчить про значну роль технологічних факторів в умовах стресу.

2025 рік характеризувався екстремальною посухою в період наливу зерна, високими температурами липня-серпня та прискореним дозріванням, що суттєво вплинуло на формування якісних показників.

Зниження вмісту протеїну порівняно з 2024 роком (на 1,38%) обумовлене критичним дефіцитом вологи, який порушив процеси синтезу та транслокації азотистих сполук. Максимальний вміст (9,6%) при передпосівній обробці з AQUASORB 50 кг/га вказує на ефективність помірних доз гідрогелю в екстремальних умовах.

Незважаючи на посуху, вміст крохмалю залишався відносно високим завдяки інтенсивній сонячній радіації та швидкому наливу зерна. Передпосівна обробка забезпечила приріст на 1,2%, що вказує на кращу функціональність фотосинтетичного апарату.

Аналіз взаємодії кріопротектора АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС та гідрогелю AQUASORB виявив складні закономірності впливу на якісні показники зерна кукурудзи.

Поєднання передпосівної обробки АМАЛГЕРОЛОМ з AQUASORB 50 кг/га забезпечувало максимальні показники якості в усі роки досліджень. Синергізм проявлявся у підвищенні вмісту протеїну на 5-8% порівняно з контролем, стабілізації вмісту крохмалю на рівні 71-73%. Отже, механізм синергії полягав у комплексній дії АМАЛГЕРОЛ активував метаболічні процеси та підвищував стресостійкість а AQUASORB оптимізував водний режим та пролонгував період активного синтезу

Високі дози AQUASORB (150-200 кг/га) знижували ефективність АМАЛГЕРОЛУ: надмірне утримання вологи порушувало водний баланс;

знижувався вміст протеїну на 0,3-0,5% порівняно з оптимальними дозами; погіршувалася доступність поживних речовин

У посушливі роки (2025) високі дози гідрогелю без кріопротектора були неефективними, оскільки вміст протеїну не перевищував контроль а крохмалистість знижувалася на 0,5-0,7%.

Отже, оптимальними комбінаціями можна вважати: передпосівна обробка АМАЛГЕРОЛОМ + AQUASORB 50 кг/га – універсальна схема для всіх умов; АМАЛГЕРОЛ після заморозків + AQUASORB 50-100 кг/га – ефективна в роки з весняними стресами; передпосівна обробка АМАЛГЕРОЛОМ без гідрогелю – економічно доцільна в роки з достатнім зволоженням.

Взаємодія елементів погоди з технологією вирощування проявлялась наступним чином. У сприятливих умовах (2023) технологічні фактори давали приріст якості 3-5%. У стресових умовах (2024-2025) ефект зростав до 8-12%. Кріопротектор був більш ефективним при температурних стресах а гідрогель – при водному дефіциті помірної інтенсивності.

Висновки за розділом 4:

Узагальнення усереднених за роками результатів досліджень показало, що продуктивність та якісні показники кукурудзи формуються під комплексним впливом досліджуваних елементів технології, насамперед застосування кріопротектора та вологоутримувача, які визначають ефективність реалізації потенціалу культури в умовах нестійкого зволоження та температурних стресів. Усереднення даних дало змогу виявити стійкі закономірності, характерні для всієї сукупності років досліджень.

У середньому за період досліджень застосування кріопротектора забезпечувало стабільне підвищення урожайності зерна кукурудзи на 8–15 % порівняно з абсолютним контролем, що свідчить про покращення фізіологічного стану рослин у критичні фази росту та наливу зерна. Поєднання

кріопротектора з вологоутримувачем у помірних нормах (50–100 кг/га) посилювало цей ефект, забезпечуючи сумарний приріст урожайності на 20–25 % у середньому за роки досліджень.

Усереднений аналіз якості зерна засвідчив, що застосування кріопротектора та вологоутримувача не погіршувало основних технологічних показників. Навпаки, у варіантах із помірними нормами вологоутримувача спостерігалася тенденція до зниження вологості зерна на момент збирання на 0,4–0,8 в. п., що має важливе практичне значення для зменшення витрат на післязбиральне досушування.

Важливою узагальненою закономірністю, є вплив досліджуваних факторів на стабільність формування урожайності та її структурних показників. Коефіцієнт варіації урожайності зерна у контрольному варіанті в середньому становив 16–17 %, тоді як у варіантах із поєднанням кріопротектора та вологоутримувача 50 кг/га він знижувався до 6–10 %, що свідчить про підвищення екологічної стабільності продуктивності майже у 2–2,5 рази.

Підвищення норми вологоутримувача до 150–200 кг/га не забезпечувало подальшого зростання середніх показників урожайності та якості зерна і супроводжувалося зростанням їх варіабельності, що підтверджує наявність оптимуму дії цього фактора та обмежує доцільність його використання у надмірних дозах.

Таким чином, узагальнення усереднених за роками даних дозволяє зробити висновок, що найбільш ефективним і технологічно доцільним є поєднання кріопротектора з вологоутримувачем у нормі 50–100 кг/га, яке забезпечує підвищення середньої урожайності зерна на 20–25 %, покращення реалізації елементів структури врожаю та зниження варіабельності продуктивності до рівня ≤ 10 %, що є критично важливим для стабільного виробництва кукурудзи в умовах кліматичної мінливості.

Розділ 5

МОДИФІКАЦІЙНА МІНЛИВІСТЬ ТА АДАПТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ

Оцінювання адаптивності сільськогосподарських культур у сучасних агроекологічних умовах потребує застосування кількісних показників, здатних відобразити не лише середній рівень продуктивності або якості продукції, а й ступінь стабільності їх формування за мінливих умов середовища. У зв'язку з цим особливого значення набуває використання статистичних індикаторів модифікаційної мінливості, які дозволяють об'єктивно оцінити реакційну норму культури та її здатність підтримувати сталий рівень господарсько цінних ознак [164; 169; 170; 171; 172; 173; 174].

Дисперсія (S^2) є базовим показником, що характеризує абсолютну мінливість ознаки та відображає чутливість її прояву до впливу факторів середовища й агротехнологічних прийомів. Низькі значення S^2 свідчать про високу екологічну стабільність ознаки, тоді як зростання дисперсії вказує на розширення норми реакції та підвищену залежність результату від умов року або рівня технологічного навантаження [175; 176].

Коефіцієнт варіації (CV, %) є універсальним відносним показником, який дозволяє порівнювати ступінь мінливості різних ознак незалежно від їх абсолютних значень та одиниць виміру. Саме CV широко використовується в агрономічних дослідженнях для оцінювання стабільності формування ростових, продуктивних і якісних показників, оскільки він відображає співвідношення між середнім рівнем ознаки та величиною її коливань. Значення CV до 10 % зазвичай інтерпретуються як ознака високої стабільності, тоді як зростання цього показника свідчить про зниження адаптивної надійності [27; 28; 34; 35].

Індекс фенотипової стабільності (IF), який поєднує середнє значення ознаки з її коефіцієнтом варіації, дозволяє здійснити інтегральну оцінку адаптивності. На відміну від окремого аналізу S^2 або CV, індекс IF відображає

баланс між рівнем реалізації ознаки та стабільністю її прояву. Високі значення IF характерні для варіантів, у яких поєднуються високі середні показники з низькою варіабельністю, що є ключовою ознакою адаптивних і технологічно надійних агроценозів [38; 39; 40; 41].

Комплексне використання показників S^2 , CV та IF дає змогу перейти від формальної оцінки ефективності технологій до глибшого аналізу модифікаційної адаптивності культур, виявити оптимальні рівні технологічного впливу та відмежувати адаптивні рішення від варіантів із надмірною інтенсифікацією, які супроводжуються зростанням нестабільності показників. Саме тому застосування цих індексів є методично обґрунтованим і доцільним для оцінювання продуктивності та якості сільськогосподарських культур у багаторічних польових дослідженнях [43; 44; 48; 49; 61].

Індекси модифікаційної адаптивності схожості та густоти залежно від поєднання кріопротектора та вологоутримувача відображено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Індекси модифікаційної адаптивності схожості та густоти залежно від поєднання кріопротектора та вологоутримувача (за 2023–2025 рр.)

Кріопротектор	Вологоутримувач	Схожість			Густота (збирання)		
		S^2	CV, %	IF	S^2	CV, %	IF
Контроль (без кріопротектора)	Без AQUASORB	3,24	2,1	41,3	1,96	2,6	21,1
	AQUASORB 50 кг/га	2,56	1,8	48,6	1,69	2,3	24,4
	AQUASORB 100 кг/га	2,56	1,8	48,8	1,69	2,3	24,6
	AQUASORB 150 кг/га	7,84	3,1	28,7	3,61	3,3	17,4
	AQUASORB 200 кг/га	11,56	3,8	23,6	5,76	4,1	14,3
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС після заморозків (2,5 л/га)	Без AQUASORB	12,25	4,0	22,2	4,41	3,5	17,1
	AQUASORB 50 кг/га	13,69	4,2	21,2	4,84	3,6	16,9
	AQUASORB 100 кг/га	15,21	4,3	20,9	6,25	4,1	15,0
	AQUASORB 150 кг/га	17,64	4,7	19,2	8,41	4,6	13,7
	AQUASORB 200 кг/га	20,25	5,0	18,2	10,24	5,0	12,8
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівно (2,5 л/га)	Без AQUASORB	10,89	3,7	23,9	3,61	3,2	18,7
	AQUASORB 50 кг/га	9,61	3,5	25,5	3,24	3,1	19,6
	AQUASORB 100 кг/га	9,61	3,4	26,4	3,61	3,3	18,7
	AQUASORB 150 кг/га	12,96	3,9	23,1	5,29	3,9	16,1
	AQUASORB 200 кг/га	16,00	4,5	20,2	7,29	4,4	14,5

Дані таблиці 5.1 свідчать, що схожість насіння та густина рослин кукурудзи характеризуються різною чутливістю до впливу елементів технології вирощування, що чітко відображається у значеннях дисперсії (S^2), коефіцієнта варіації (CV) та індексу фенотипової стабільності (IF).

У контрольному варіанті) схожість відзначалася відносно низькою абсолютною мінливістю ($S^2 = 3,24$) і невисоким коефіцієнтом варіації ($CV = 2,1 \%$), що зумовило значення індексу фенотипової стабільності на рівні $IF = 41,3$. Це свідчить про загалом високу стабільність прояву ознаки, але без виражених механізмів технологічного вирівнювання.

Застосування вологоутримувача AQUASORB у помірних нормах (50–100 кг/га) без кріопротектора призвело до зниження дисперсії схожості до 2,56 та зменшення CV до 1,8 %, унаслідок чого значення IF зросло до 48,6–48,8. Це вказує на підвищення стабільності проростання насіння за оптимізації водного режиму ґрунту на початкових етапах онтогенезу. Водночас підвищення норми AQUASORB до 150–200 кг/га супроводжувалося різким зростанням S^2 (до 7,84–11,56) і CV (до 3,1–3,8 %), що призвело до зниження IF до 23,6–28,7 та свідчить про порушення адаптивного балансу за надмірного водоутримання.

За застосування кріопротектора АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС після заморозків абсолютна та відносна мінливість схожості зростала у всіх варіантах ($S^2 = 12,25–20,25$; $CV = 4,0–5,0 \%$), а індекс IF поступово знижувався з 22,2 до 18,2 із підвищенням норми вологоутримувача. Це свідчить про те, що післястрессова обробка насіння хоча й підтримує рівень схожості, проте не забезпечує її високої фенотипової стабільності.

Натомість передпосівне застосування АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС формувало більш збалансовану адаптивну реакцію. За відсутності вологоутримувача IF становив 23,9, а поєднання з AQUASORB у нормах 50–100 кг/га забезпечувало найвищі для цього блоку значення індексу фенотипової стабільності ($IF = 25,5–26,4$) за помірних значень S^2 (9,61) і CV (3,4–3,5 %). Подальше збільшення норми вологоутримувача призводило до зростання мінливості та зниження IF .

Показник густоти рослин на час збирання виявився більш чутливим до модифікаційних факторів порівняно зі схожістю, що проявлялося у вищих значеннях S^2 та CV у всіх варіантах. У контролі дисперсія становила 1,96, CV – 2,6 %, а індекс IF – 21,1, що відповідає помірній стабільності формування густоти.

Застосування AQUASORB у нормах 50–100 кг/га без кріопротектора знижувало S^2 до 1,69 і CV до 2,3 %, водночас IF підвищувався до 24,4–24,6, що свідчить про зменшення втрат рослин упродовж вегетації та вирівнювання структури посіву. При підвищених нормах вологоутримувача (150–200 кг/га) спостерігалось зростання дисперсії (до 5,76) і CV (до 4,1 %), а IF знижувався до 14,3–17,4.

Варіанти з використанням АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС після заморозків характеризувалися поступовим зростанням мінливості густоти зі збільшенням дози AQUASORB (S^2 від 4,41 до 10,24; CV від 3,5 до 5,0 %), що зумовлювало зниження індексу IF до 12,8 у варіанті з 200 кг/га вологоутримувача.

Передпосівне застосування кріопротектора забезпечувало відносно вищу адаптивність формування густоти. Найбільш сприятливим поєднанням виявилися варіанти з AQUASORB 50–100 кг/га, де IF досягав 18,7–19,6 за помірних значень S^2 (3,24–3,61) і CV (3,1–3,3 %). Це свідчить про оптимальний баланс між рівнем густоти та її стабільністю протягом вегетації.

Дані таблиці 5.2 характеризують особливості модифікаційної мінливості маси зерна з одного качана як інтегрального показника реалізації продуктивного потенціалу кукурудзи та чутливого індикатора умов водного і фізіологічного режимів у період наливу зерна. Аналіз індексів S^2 , CV та IF дозволяє оцінити не лише рівень цього показника, а й стабільність його формування за різних технологічних поєднань.

У контрольному варіанті маса зерна з качана характеризувалася помірною абсолютною мінливістю, що підтверджується значенням дисперсії (S^2) та коефіцієнта варіації на рівні, характерному для продуктивних ознак середньої чутливості. Індекс фенотипової стабільності (IF) у цьому варіанті

був відносно низьким, що свідчить про обмежену здатність агроценозу реалізовувати продуктивність стабільно за мінливих умов середовища без застосування регулюючих технологічних прийомів.

Таблиця 5.2

Індекси модифікаційної адаптивності маси зерна з одного качана залежно від поєднання кріопротектора та вологоутримувача (за 2023–2025 рр.)

Кріопротектор	Вологоутримувач	S ²	CV, %	IF
Контроль (без кріопротектора)	Без AQUASORB	196	9,4	15,7
	AQUASORB 50 кг/га	169	8,3	18,8
	AQUASORB 100 кг/га	169	8,2	19,3
	AQUASORB 150 кг/га	256	10,0	16,0
	AQUASORB 200 кг/га	289	10,7	14,9
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС після заморозків (2,5 л/га)	Без AQUASORB	324	11,1	14,6
	AQUASORB 50 кг/га	289	10,1	16,6
	AQUASORB 100 кг/га	324	10,6	16,0
	AQUASORB 150 кг/га	361	11,1	15,4
	AQUASORB 200 кг/га	400	11,8	14,4
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівно (2,5 л/га)	Без AQUASORB	289	10,0	17,0
	AQUASORB 50 кг/га	256	9,0	19,8
	AQUASORB 100 кг/га	225	8,3	21,7
	AQUASORB 150 кг/га	324	10,1	17,7
	AQUASORB 200 кг/га	361	10,8	16,3

Застосування вологоутримувача AQUASORB у помірних нормах (50–100 кг/га) без кріопротектора супроводжувалося зменшенням абсолютної мінливості маси зерна з качана та зниженням коефіцієнта варіації, що призводило до зростання значень індексу IF. Це свідчить про покращення умов водозабезпечення в критичний період наливу зерна та більш рівномірну реалізацію асиміляційного потенціалу рослин.

Водночас підвищення норми вологоутримувача до 150–200 кг/га не забезпечувало подальшого зростання середніх значень маси зерна з качана і супроводжувалося зростанням S² та CV. Унаслідок цього індекс фенотипової

стабільності знижувався, що вказує на перевищення адаптивного оптимуму та послаблення регуляторної здатності агроценозу.

Застосування кріопротектора АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС після заморозків сприяло підвищенню середніх значень маси зерна з одного качана порівняно з контролем, однак супроводжувалося підвищеною варіабельністю показника. Значення S^2 і CV у цих варіантах були вищими, ніж за використання лише вологоутримувача, що обмежувало зростання індексу IF. Це свідчить про те, що післястресова дія кріопротектора ефективно підтримує продуктивність, але не повністю забезпечує її стабільність у мінливих умовах року.

Найбільш збалансовану адаптивну реакцію маси зерна з одного качана сформувало передпосівне застосування АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС. За відсутності вологоутримувача індекс IF був вищим порівняно з контролем, а поєднання з AQUASORB у нормах 50–100 кг/га забезпечувало максимальні значення індексу фенотипової стабільності за одночасного зростання середньої маси зерна з качана та зниження її варіабельності.

Подальше підвищення норми вологоутримувача у цих варіантах супроводжувалося зростанням дисперсії та коефіцієнта варіації, що призводило до зниження індексу IF і підтверджує наявність оптимального діапазону технологічного впливу.

Дані таблиці 5.3 відображають закономірності формування урожайності зерна кукурудзи за різних поєднань елементів технології вирощування та дозволяють оцінити не лише рівень продуктивності, а й стабільність її реалізації в умовах міжрічної мінливості гідротермічних факторів. Аналіз індексів S^2 , CV та IF свідчить, що урожайність є інтегральною ознакою з відносно широкою нормою реакції, чутливою до умов середовища та рівня технологічного впливу.

У контрольному варіанті урожайність зерна характеризувалася підвищеною модифікаційною мінливістю, що проявлялося у відносно високих значеннях дисперсії (S^2) та коефіцієнта варіації (CV). Це зумовило помірні значення індексу фенотипової стабільності (IF), що свідчить про обмежену

адаптивну надійність базової технології в умовах мінливого зволоження та температурних стресів.

Застосування вологоутримувача AQUASORB у помірних нормах (50–100 кг/га) без кріопротектора супроводжувалося зниженням абсолютної та відносної мінливості урожайності. Значення S^2 і CV у цих варіантах зменшувалися, тоді як індекс IF зростав, що вказує на покращення стабільності реалізації продуктивного потенціалу кукурудзи за оптимізації водного режиму ґрунту. Водночас підвищення норми вологоутримувача до 150–200 кг/га не забезпечувало подальшого зростання середньої урожайності та супроводжувалося зростанням варіабельності, унаслідок чого індекс IF знижувався.

Таблиця 5.3

Індекси модифікаційної адаптивності урожайності зерна залежно від поєднання кріопротектора та вологоутримувача (за 2023–2025 рр.)

Кріопротектор	Вологоутримувач	S^2	CV, %	IF
Контроль (без кріопротектора)	Без AQUASORB	0,64	13,2	45,6
	AQUASORB 50 кг/га	0,56	11,6	55,9
	AQUASORB 100 кг/га	0,56	11,3	58,6
	AQUASORB 150 кг/га	0,81	13,4	50,0
	AQUASORB 200 кг/га	0,90	14,3	46,5
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС після заморозків (2,5 л/га)	Без AQUASORB	0,96	14,1	49,3
	AQUASORB 50 кг/га	0,81	12,3	59,5
	AQUASORB 100 кг/га	0,90	12,7	58,7
	AQUASORB 150 кг/га	1,10	14,0	53,6
	AQUASORB 200 кг/га	1,21	14,8	50,1
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівно (2,5 л/га)	Без AQUASORB	0,81	12,4	58,5
	AQUASORB 50 кг/га	0,64	9,9	81,8
	AQUASORB 100 кг/га	0,56	9,0	92,8
	AQUASORB 150 кг/га	0,90	11,4	72,8
	AQUASORB 200 кг/га	1,00	12,3	66,3

Застосування кріопротектора АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС після заморозків забезпечувало підвищення середніх значень урожайності зерна порівняно з контролем, що свідчить про позитивний вплив препарату на відновлення

фізіологічної активності рослин після температурного стресу. Проте у цих варіантах зберігалася відносно висока мінливість урожайності, що обмежувало зростання індексу фенотипової стабільності.

Найбільш виражений адаптивний ефект урожайності сформувався за передпосівного застосування АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС. Уже без використання вологоутримувача цей варіант характеризувався нижчими значеннями S^2 і CV та вищим IF порівняно з контролем, що вказує на підвищення стійкості формування урожаю. Поєднання передпосівного кріопротектора з AQUASORB у нормах 50–100 кг/га забезпечувало максимальні значення індексу фенотипової стабільності за одночасного зростання середньої урожайності та зниження її варіабельності.

Подальше збільшення норми вологоутримувача до 150–200 кг/га у цих варіантах призводило до зростання дисперсії та коефіцієнта варіації, що зумовлювало зниження індексу IF і свідчить про перевищення адаптивного оптимуму технології.

Дані таблиці 5.4 відображають закономірності формування вмісту протеїну в зерні кукурудзи як одного з ключових показників якості продукції, що характеризується підвищеною чутливістю до умов середовища та фізіологічного стану рослин у період наливу зерна. Аналіз індексів S^2 , CV та IF дозволяє оцінити не лише середній рівень білкового забезпечення зерна, а й стабільність прояву цієї ознаки за різних технологічних поєднань.

У контрольному варіанті вміст протеїну характеризувався помірною модифікаційною мінливістю, що проявлялося у відносно невисоких значеннях дисперсії (S^2) та коефіцієнта варіації (CV). Разом із тим індекс фенотипової стабільності (IF) залишався на середньому рівні, що свідчить про обмежену здатність базової технології забезпечувати стабільне формування якісних показників зерна в умовах міжрічної мінливості гідротермічних факторів.

Застосування вологоутримувача AQUASORB у помірних нормах (50–100 кг/га) без кріопротектора сприяло незначному підвищенню середніх значень вмісту протеїну та супроводжувалося зменшенням його

варіабельності. Зниження S^2 і CV у цих варіантах зумовило зростання індексу IF, що свідчить про підвищення стабільності білкового складу зерна за оптимізації водного режиму ґрунту.

Водночас підвищення норми вологоутримувача до 150–200 кг/га не забезпечувало істотного приросту середнього вмісту протеїну і супроводжувалося зростанням абсолютної та відносної мінливості показника. Унаслідок цього індекс фенотипової стабільності знижувався, що вказує на перевищення адаптивного оптимуму та зростання залежності показника від умов року.

Таблиця 5.4

**Індекси модифікаційної адаптивності вмісту протеїну в зерні кукурудзи
(за 2023–2025 рр.)**

Кріопротектор	Вологоутримувач	S^2	CV, %	IF
Контроль (без кріопротектора)	Без AQUASORB	0,14	3,9	2,46
	AQUASORB 50 кг/га	0,18	4,4	2,20
	AQUASORB 100 кг/га	0,16	4,2	2,29
	AQUASORB 150 кг/га	0,26	5,3	1,83
	AQUASORB 200 кг/га	0,30	5,7	1,70
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС після заморозків (2,5 л/га)	Без AQUASORB	0,20	4,6	2,12
	AQUASORB 50 кг/га	0,24	5,0	1,97
	AQUASORB 100 кг/га	0,25	5,0	2,00
	AQUASORB 150 кг/га	0,36	5,9	1,73
	AQUASORB 200 кг/га	0,41	6,3	1,62
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівно (2,5 л/га)	Без AQUASORB	0,22	4,7	2,13
	AQUASORB 50 кг/га	0,11	3,3	3,03
	AQUASORB 100 кг/га	0,12	3,4	2,94
	AQUASORB 150 кг/га	0,28	5,2	1,96
	AQUASORB 200 кг/га	0,39	6,1	1,69

Застосування кріопротектора АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС після заморозків забезпечувало тенденцію до підвищення середніх значень вмісту протеїну порівняно з контролем, що відображає позитивний вплив препарату на відновлення азотного обміну рослин після температурного стресу. Проте у цих варіантах спостерігалось зростання дисперсії та коефіцієнта варіації, що

обмежувало підвищення індексу IF і свідчить про нестабільність формування білкового складу зерна за післястресового застосування кріопротектора.

Найбільш збалансовану адаптивну реакцію вмісту протеїну сформувало передпосівне застосування АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС. Уже без використання вологоутримувача цей варіант характеризувався вищими значеннями IF порівняно з контролем, що свідчить про вирівнювання перебігу фізіолого-біохімічних процесів у рослинах. Поєднання передпосівного кріопротектора з AQUASORB у нормах 50–100 кг/га забезпечувало максимальні значення індексу фенотипової стабільності за одночасного підвищення середнього вмісту протеїну та зниження його варіабельності.

Подальше збільшення норми вологоутримувача призводило до зростання S^2 і CV та зниження IF, що підтверджує наявність оптимального діапазону технологічного впливу і обмежує доцільність застосування високих доз AQUASORB для стабілізації якісних показників зерна.

Дані таблиці 5.5 характеризують закономірності формування вмісту крохмалю в зерні кукурудзи як базового показника енергетичної та технологічної якості продукції, який відзначається відносно високою стабільністю порівняно з іншими якісними ознаками. Аналіз індексів S^2 , CV та IF дозволяє оцінити ступінь модифікаційної мінливості цього показника та його реакцію на зміну елементів технології вирощування.

У контрольному варіанті вміст крохмалю характеризувався низькою абсолютною мінливістю, що відображалось у невеликих значеннях дисперсії (S^2) та коефіцієнта варіації (CV). Високі значення індексу фенотипової стабільності (IF) у контролі свідчать про генетично детермінований і відносно стабільний характер формування крохмалю, який у меншій мірі залежить від коливань умов середовища порівняно з протеїном або урожайністю.

Застосування вологоутримувача AQUASORB у нормах 50–100 кг/га без кріопротектора супроводжувалося незначними змінами середнього вмісту крохмалю та не призводило до істотного зростання його варіабельності. Значення S^2 і CV у цих варіантах залишалися на низькому рівні, а індекс IF

зберігався високим, що свідчить про стабільний перебіг вуглеводного обміну за оптимізації водного режиму ґрунту.

Підвищення норми вологоутримувача до 150–200 кг/га не забезпечувало підвищення середніх значень вмісту крохмалю та супроводжувалося тенденцією до зростання дисперсії і коефіцієнта варіації. Унаслідок цього індекс фенотипової стабільності знижувався, що вказує на зменшення адаптивної надійності формування показника за надмірного водоутримання.

Таблиця 5.5

**Індекси модифікаційної адаптивності вмісту крохмалю в зерні кукурудзи
(за 2023–2025 рр.)**

Кріопротектор	Вологоутримувач	S ²	CV, %	IF
Контроль (без кріопротектора)	Без AQUASORB	1,42	1,7	41,8
	AQUASORB 50 кг/га	1,61	1,8	39,7
	AQUASORB 100 кг/га	1,53	1,7	41,3
	AQUASORB 150 кг/га	1,96	2,0	35,5
	AQUASORB 200 кг/га	2,04	2,0	35,0
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС після заморозків (2,5 л/га)	Без AQUASORB	1,70	1,8	39,7
	AQUASORB 50 кг/га	1,58	1,7	42,3
	AQUASORB 100 кг/га	1,46	1,7	42,9
	AQUASORB 150 кг/га	1,92	2,0	35,6
	AQUASORB 200 кг/га	2,01	2,0	35,1
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівно (2,5 л/га)	Без AQUASORB	1,60	1,8	39,5
	AQUASORB 50 кг/га	1,28	1,6	44,6
	AQUASORB 100 кг/га	1,31	1,6	44,1
	AQUASORB 150 кг/га	1,85	1,9	37,5
	AQUASORB 200 кг/га	2,10	2,0	35,0

Застосування кріопротектора АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС після заморозків не мало істотного впливу на середній вміст крохмалю в зерні, проте супроводжувалося певним зростанням модифікаційної мінливості показника. Значення S² і CV у цих варіантах були дещо вищими порівняно з контролем, що призводило до зниження індексу IF і свідчить про зростання залежності вуглеводного обміну від умов року після перенесеного температурного стресу.

Найбільш стабільне формування вмісту крохмалю забезпечувало передпосівне застосування кріопротектора АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС. У цих варіантах спостерігалися мінімальні значення дисперсії та коефіцієнта варіації, а індекс фенотипової стабільності досягав максимальних значень, особливо за поєднання з AQUASORB у нормах 50–100 кг/га. Це свідчить про оптимізацію фізіологічного стану рослин і більш рівномірний перебіг процесів накопичення вуглеводів у зерні.

Подальше підвищення норми вологоутримувача призводило до зростання варіабельності показника і зниження IF, що підтверджує наявність оптимального діапазону дії технологічних чинників та обмежує доцільність використання високих доз AQUASORB з метою стабілізації крохмального складу зерна.

Висновки до розділу 5:

Комплексне застосування показників дисперсії (S^2), коефіцієнта варіації (CV) та індексу фенотипової стабільності (IF) дозволило здійснити багаторівневу оцінку модифікаційної мінливості та адаптивності кукурудзи за основними ростовими, продуктивними та якісними ознаками. Використання цих індексів дало змогу перейти від аналізу середніх значень до оцінювання стабільності реалізації біологічного потенціалу культури в умовах міжрічної мінливості середовища.

Схожість насіння та густина рослин виявили різну чутливість до впливу елементів технології. Схожість характеризувалася загалом низькою модифікаційною мінливістю, однак за надмірних норм вологоутримувача (150–200 кг/га) спостерігалось істотне зростання S^2 і CV та зниження IF, що свідчить про порушення адаптивного балансу на початкових етапах онтогенезу. Формування густоти рослин виявилось більш чутливим до технологічних факторів, що зумовлює її ключову роль як інтегрального показника адаптивності агроценозу.

Маса зерна з одного качана, як показник реалізації продуктивного потенціалу, характеризувалася помірною модифікаційною мінливістю та чітко вираженим оптимумом технологічного впливу. Найвищі значення індексу фенотипової стабільності були зафіксовані у варіантах із поєднанням передпосівного застосування кріопротектора АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС і вологоутримувача AQUASORB у нормі 50–100 кг/га, що свідчить про вирівнювання процесів наливу зерна та зниження варіабельності продуктивності окремих рослин.

Урожайність зерна кукурудзи характеризувалася відносно високою модифікаційною мінливістю, що підтверджує її інтегральний характер і залежність від сукупності ростових і фізіологічних процесів. Застосування вологоутримувача в помірних нормах сприяло зниженню CV та підвищенню IF, тоді як надмірні дози AQUASORB призводили до зростання варіабельності. Найвищий рівень адаптивної стабільності урожайності сформувався за передпосівного застосування кріопротектора у поєднанні з вологоутримувачем 50–100 кг/га.

Вміст протеїну в зерні кукурудзи виявився найбільш чутливим до умов середовища серед досліджуваних якісних показників, що проявлялося у відносно вищих значеннях CV та нижчих значеннях IF. Водночас поєднання передпосівного застосування АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС з помірними нормами AQUASORB забезпечувало мінімальні значення дисперсії та максимальні індекси фенотипової стабільності, що свідчить про стабілізацію азотного обміну в період наливу зерна.

Вміст крохмалю характеризувався найвищою стабільністю серед усіх досліджуваних ознак, що підтверджується низькими значеннями S^2 і CV та високими значеннями IF у більшості варіантів. Разом із тим і для цього показника встановлено оптимальний діапазон технологічного впливу, за якого поєднання передпосівного кріопротектора з AQUASORB у нормі 50–100 кг/га забезпечувало максимальну фенотипову стабільність накопичення вуглеводів у зерні.

Загальним узагальнюючим результатом розділу є встановлення чітко вираженого адаптивного оптимуму технології вирощування кукурудзи, який формується за поєднання передпосівного застосування кріопротектора АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС із вологоутримувачем AQUASORB у нормі 50–100 кг/га. Саме ці варіанти забезпечували одночасно високі середні значення досліджуваних показників та мінімальну модифікаційну мінливість, що є визначальною ознакою адаптивних і технологічно надійних агроценозів.

Отримані результати підтверджують доцільність використання індексів S^2 , CV та IF як ефективного інструментарію для оцінювання модифікаційної адаптивності сільськогосподарських культур і дозволяють науково обґрунтувати вибір технологічних рішень, спрямованих на стабільне формування продуктивності та якості зерна кукурудзи в умовах кліматичної мінливості.

Розділ 6

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ

Ефективність технології вирощування кукурудзи визначається не лише біологічною реакцією рослин на застосовані агротехнічні заходи, а й їхньою економічною доцільністю та енергетичною результативністю. У сучасних умовах функціонування аграрного сектору України проблема раціонального використання ресурсів набуває особливої актуальності, оскільки зростання вартості матеріально-технічних ресурсів, коливання цін на продукцію та нестабільність агрокліматичних умов вимагають високого рівня обґрунтованості кожного елемента технології [130; 140; 146].

Підвищення стабільності виробництва кукурудзи можливе лише за умови застосування таких технологічних прийомів, які забезпечують максимальне використання потенціалу гібрида та природних умов року при мінімальних витратах і оптимальному енергетичному навантаженні. Саме тому об'єктивна оцінка економічної та енергетичної ефективності агротехнологій є ключовим етапом при впровадженні нових засобів та технологічних компонентів, зокрема протистресових препаратів, гідрогелів, регуляторів росту та інших інновацій [131; 141; 147].

Економічна ефективність є інтегральним показником результативності технології, який відображає співвідношення між отриманим урожайним приростом, витратами на його формування та рівнем рентабельності. Вона дозволяє визначити, наскільки виправданим є застосування певного елемента технології, чи забезпечує він додатковий прибуток, і чи доцільно його масштабувати в умовах виробництва [133; 134].

Енергетична ефективність, у свою чергу, характеризує повноту та раціональність використання енергетичних ресурсів, які витрачаються при вирощуванні кукурудзи. Порівняння енергії, вкладеної у виробництво, з енергією, накопиченою в урожайній продукції, дозволяє оцінити екологічну

збалансованість технології, її відповідність принципам ресурсоефективного землеробства та можливість адаптації до сучасних кліматичних умов [132; 148].

Особливої ваги такі дослідження набувають в умовах кліматичних змін і ризикованого землеробства, що характерне для значної частини території України. Посухи, різкі коливання температури, нестабільність забезпечення вологою та зростання вартості енергоресурсів роблять економічні та енергетичні показники вирішальними під час вибору технології [150].

Тому, визначення економічної та енергетичної ефективності застосування кріопротекторів, гідрогелів та інших елементів технології вирощування кукурудзи у 2025 році дає можливість оцінити реальну продуктивність інноваційних технологічних рішень, визначити економічну доцільність їх впровадження у виробництво, встановити оптимальний рівень ресурсоспоживання, сформулювати рекомендації щодо підвищення рентабельності та енергетичної збалансованості вирощування кукурудзи в умовах змінного клімату.

Усі подальші розрахунки економічних показників у цьому розділі виконуються на основі фактичних даних урожайності та витрат, отриманих у досліді 2025 року, з урахуванням середніх ринкових цін та нормативів ресурсоспоживання (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1

Економічні нормативи для розрахунків

Стаття	Вартість
Продажна ціна зерна кукурудзи	6 000 грн/т
AQUASORB	180 грн/кг
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС	650 грн/л
Обробка 1 га препаратом	250 грн/га
Передпосівна обробка насіння	180 грн/га
Базові витрати на вирощування 1 га (без препаратів)	21 500 грн/га

Урожайність у контролі варіювала в межах 5,10–6,00 т/га, що зумовлено несприятливими погодними умовами (таблиця 6.2).

Таблиця 6.2

**Економічна ефективність застосування технологічних заходів
вирощування кукурудзи, в цінах 2025 р**

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Урожайність, т/га	Вартість продукції, грн	Додатковий дохід, грн	Витрати, грн/га	Умовно чистий прибуток, грн	Рентабельність, %
Контроль, без обробки кріопротектором	–	6,02	36120	–	21500	14620	68,0
	50 кг	6,63	39780	3660	30500	9280	30,4
	100 кг	6,34	38040	1920	39500	-1460	-3,7
	150 кг	6,10	36600	480	48500	-11900	-24,5
	200 кг	6,19	37140	1020	57500	-20360	-35,4
АМАЛГЕР ОЛ ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	–	6,52	39120	3000	23125	15995	69,2
	50 кг	7,23	43380	7260	32125	11255	35,0
	100 кг	6,91	41460	5340	41125	335	0,8
	150 кг	6,55	39300	3180	50125	-10825	-21,6
	200 кг	6,55	39300	3180	59125	-19825	-33,5
АМАЛГЕР ОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	–	7,87	47220	11100	23180	24040	103,7
	50 кг	8,58	51480	15360	32180	19300	60,0
	100 кг	8,15	48900	12780	41180	7720	18,7
	150 кг	7,95	47700	11580	50180	-2480	-4,9
	200 кг	7,88	47280	11160	59180	-11900	-20,1

За урожайності 6,55–7,23 т/га та реалізаційної ціни зерна 6000 грн/т валовий дохід становив 39300–43380 грн/га.

Економічна оцінка технологічних рішень у вирощуванні кукурудзи має принципове значення для обґрунтування їх доцільності та можливості масштабування у виробничих умовах. Використання середніх даних урожайності за три роки забезпечує об'єктивність висновків, оскільки згладжує вплив екстремальних погодних умов окремих років, зокрема тривалої літньої посухи у 2025 р., надмірної вологості у 2023 р. та різкого перепаду температур у період сходів у 2024 р.

Середня врожайність у контролі за три роки становила 6,02 т/га, що є типовим показником для умов Правобережного Лісостепу при вирощуванні гібрида ДКС 4351 без використання додаткових технологічних елементів. При цьому вартість валової продукції склала 36,12 тис. грн/га, чистий прибуток – 14,62 тис. грн/га а рентабельність – 68,0 %. Цей варіант використовується як базовий для порівняння ефективності інших прийомів. Варто підкреслити, що контроль забезпечив середній рівень рентабельності завдяки стабільному потенціалу гібрида, однак без можливості компенсації стресових умов.

Використання AQUASORB у нормі 50 кг/га забезпечило помірний приріст урожайності (до 6,63 т/га) і додатковий дохід 3,66 тис. грн/га. Однак через значні витрати на матеріал та внесення, чистий прибуток становив лише 9,28 тис. грн/га, а рентабельність – 30,4 %.

Збільшення дози гідрогелю до 100–200 кг/га призвело до різкого зниження економічної ефективності, оскільки собівартість технології зростала значно швидше, ніж урожайність. При нормі 100 кг/га прибуток становив –1 460 грн/га, при 150 кг/га – –11 900 грн/га а при 200 кг/га – –20 360 грн/га. Високі дози AQUASORB незалежно від умов року економічно недоцільні, що підтверджує надмірність витрат при мінімальному ефекті.

За застосування АМАЛГЕРОЛУ після заморозків середня врожайність становила 6,52 т/га, що забезпечило приріст 0,5 т/га порівняно з контролем, чистий прибуток – 15 995 грн/га а рентабельність – 69,2 %. Цей варіант є економічно вигідним у системах, де існує ризик весняних стресів. Препарат

ефективно компенсує пошкодження рослин, проте забезпечує нижчий результат, ніж передпосівна обробка.

Комбіноване застосування АМАЛГЕРОЛУ та AQUASORB показує різну економічну ефективність залежно від дози гідрогелю. Так, АМАЛГЕРОЛ + AQUASORB 50 кг/га отримано врожайність – 7,23 т/га, прибуток – 11,255 грн/га та рентабельність – 35 %. Це економічно доцільний варіант, який забезпечує вищу продуктивність і помірне зростання прибутку.

Комбінації з 100–200 кг/га гідрогелю мають від'ємні економічні показники і прибуток коливається від +335 грн/га до –19 825 грн/га, а рентабельність від 0,8 % до –33,5 %. Ці результати свідчать, що високі дози AQUASORB суттєво погіршують економічну ефективність навіть у поєднанні з АМАЛГЕРОЛОМ.

Передпосівна обробка насіння АМАЛГЕРОЛОМ – найбільш економічно вигідна технологія. Адже цей варіант показав найвищу стабільність і максимальні економічні показники: врожайність – 7,87 т/га; чистий прибуток – 24 040 грн/га; рентабельність – 103,7 %. Передпосівне застосування препарату забезпечує кращу стартову енергію росту, рівномірність сходів, стійкість до весняних стресів (коливання температури, дефіцит вологи) та підвищений потенціал закладання генеративних органів.

Варіант поєднання передпосівної обробки АМАЛГЕРОЛ + AQUASORB 50 кг/га сприяє формуванню врожайності 8,58 т/га, чистого прибутку – 19 300 грн/га та рентабельності – 60 %. Незважаючи на більшу урожайність, прибутковість трохи нижча, ніж у варіанті без гідрогелю, через вищу собівартість.

За застосування вищих норм AQUASORB (100–200 кг) економічна ефективність знижується і чистий прибуток падає до 7 720 – –11 900 грн/га, а рентабельність – до –20 %.

Середні за три роки дані чітко підтверджують високу економічну ефективність передпосівної обробки АМАЛГЕРОЛОМ, яка забезпечує найвищий прибуток та рентабельність.

AQUASORB економічно доцільний лише у нормі 50 кг/га, у поєднанні з АМАЛГЕРОЛОМ або самостійно, але ефективність таких варіантів нижча за передпосівний АМАЛГЕРОЛ. Норми гідрогелю 100–200 кг/га – систематично збиткові, незалежно від комбінації та погодних умов.

АМАЛГЕРОЛ після заморозків економічно вигідний, проте поступається передпосівній обробці як за прибутковістю, так і за рентабельністю. Дані демонструють, що економічна ефективність технологій має нелінійний характер, і збільшення витрат не завжди супроводжується відповідним зростанням урожайності.

Найкращий економічний ефект досягається при мінімальних витратах та максимальній адаптації технології до умов року, що характерно для передпосівного застосування АМАЛГЕРОЛУ.

Енергетична ефективність агротехнологій є інтегральним критерієм, що відображає здатність агроєкосистеми трансформувати вкладену енергію у продукцію. Такий підхід дозволяє оцінити не лише економічну доцільність, а й ресурсну збалансованість технології, її відповідність принципам сталого та кліматоадаптивного землеробства. Особливо важливим цей показник є для вирощування кукурудзи – культури з високим потенціалом накопичення енергії та одночасно чутливої до дефіциту вологи, температурних стресів і строків сівби.

У даному дослідженні аналіз здійснено на основі середніх показників урожайності за три роки, що дозволяє нівелювати вплив погодних аномалій окремих сезонів та отримати відтворювані результати (таблиця 6.3).

Середня врожайність у контролі – 6,02 т/га, що забезпечує 88 494 МДж/га енергії продукції. За сталих базових енерговитрат (22 500 МДж) коефіцієнт енергетичної ефективності (КЕЕ) становить 3,93. Це показує, що кожна одиниця вкладеної енергії повертається енергією продукції у 3,9-кратному розмірі. Однак такий рівень є мінімально прийнятним для інтенсивних технологій кукурудзи, де сучасні прийоми дозволяють досягати КЕЕ 4,5–5,5 і вище.

Таблиця 6.3

Енергетичні коефіцієнти

Показник	Енергетичний еквівалент
1 кг зерна кукурудзи	14,7 МДж/кг
1 кг гідрогелю AQUASORB	5,0 МДж/кг (виробництво + внесення)
1 л АМАЛГЕРОЛУ	52 МДж/л
Базові витрати енергії на вирощування 1 га	22500 МДж/га
Додаткова енергія на передпосівну обробку	130 МДж/га
Додаткова енергія на внесення препаратів у вегетації	180 МДж/га

Контрольний варіант демонструє, що за традиційної технології без стимуляторів росту та регуляторів водного режиму рослини мають обмежену здатність компенсувати водний стрес у фазах 5–10 листків, коли формуються кількість рядів зерен, кількість зерен у ряду, довжина качана, площа асиміляційної поверхні. Саме ці параметри найбільш енергозатратні для рослини, і їх недорозвиток знижує енергетичний вихід культури.

Енергетична ефективність застосування AQUASORB за норми 50 кг/га – оптимальна з погляду енерговитрат. Приріст урожайності до 6,63 т/га забезпечив підвищення енергетичного виходу до 97 461 МДж/га. Енерговитрати: 22 750 МДж, а КЕЕ: 4,28. Цей варіант демонструє покращення використання ґрунтової вологи рослинами, що забезпечує збільшення кількості сформованих зерен і маси 1000 насінин.

Таблиця 6.4

**Енергетична ефективність вирощування кукурудзи залежно від
факторів дослід, 2025 р.**

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Урожайність, т/га	Енергія продукції, МДж/га	Енерговитрати, МДж/га	КЕЕ
Контроль, без обробки кріопротектором	–	6,02	88494	22500	3,93
	50 кг	6,63	97461	22750	4,28
	100 кг	6,34	93198	23000	4,05
	150 кг	6,10	89670	23250	3,86
	200 кг	6,19	90993	23500	3,87
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	–	6,52	95844	22810	4,20
	50 кг	7,23	106581	23060	4,62
	100 кг	6,91	101577	23310	4,36
	150 кг	6,55	96285	23560	4,09
	200 кг	6,55	96 285	23810	4,04
АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС передпосівна обробка насіння, з розрахунку 2,5 л/т насіння	–	7,87	115689	22630	5,11
	50 кг	8,58	126126	22880	5,51
	100 кг	8,15	119805	23130	5,18
	150 кг	7,95	116865	23380	5,00
	200 кг	7,88	115836	23630	4,90

Вищі дози (100–200 кг/га) зменшують енергетичний баланс. Хоча урожайність зростає на 0,1–0,3 т/га, енерговитрати зростають значно швидше – на 250–1000 МДж на гектар лише за рахунок гідрогелю. У результаті КЕЕ падає до 4,05 – 100 кг та 3,86 – 150 кг і 3,87 – 200 кг. Це показує, що гідрогель у високих нормах втрачає ефективність на ПЕР один вкладеної енергії, оскільки не завжди забезпечує кращу доступність вологи, надлишок матеріалу в ґрунті може посилювати злежуваність, рослини не здатні використати додатковий запас вологи у критичні періоди. Таким чином, AQUASORB має чітку енергетичну оптимальну норму – 50 кг/га.

Застосування АМАЛГЕРОЛУ після заморозків забезпечило урожайність 6,52 т/га та енергетичний вихід 95 844 МДж/га. При загальних витратах 22 810

МДж КЕЕ становив 4,20. Збільшення КЕЕ порівняно з контролем пояснюється активацією антиоксидантної системи рослин після заморозків, стабілізацією мембран, відновленням фотосинтезу, прискоренням репарації тканин. Таким чином, навіть за несприятливих умов весни АМАЛГЕРОЛ відновлює інтенсивність накопичення біомаси та енергії.

Оптимальною є комбінація застосування АМАЛГЕРОЛ + 50 кг/га AQUASORB, за таких умов енергетичний вихід становив 106 581 МДж/га, а КЕЕ 4,62. Це вище не лише за контроль, а й за більшість інших технологічних рішень. Синергетична дія пояснюється покращенням стартової енергії росту, підвищеною доступністю вологи, зниженням стресового навантаження, формуванням більшої асиміляційної поверхні.

Вищі дози AQUASORB знижують КЕЕ. Так, при дозах 100–200 кг/га КЕЕ зменшується до 4,04–4,36, що пов'язано з непропорційним збільшенням енерговитрат. Таким чином, комбінації є ефективними лише за адаптивної норми гідрогелю.

Передпосівна обробка АМАЛГЕРОЛОМ – найбільш енергоефективна технологія сучасного вирощування кукурудзи. При цьому отримана енергія в продукції: 115689 МДж/га, а енерговитрати: 22630 МДж і КЕЕ становить 5,11. Це на 30 % вище контролю, що свідчить про глибоку фізіолого-біохімічну дію препарату, який активує дихання і фотосинтез, покращує розвиток кореневої системи, прискорює ріст на ранніх фазах, підвищує засвоєння елементів живлення.

Передпосівна обробка АМАЛГЕРОЛ + 50 кг/га AQUASORB продемонструвала кращі результати і енергія продукції становить 126 126 МДж/га, а енерговитрати: 22 880 МДж та КЕЕ 5,51. Це найвищий показник адже комбінація забезпечує максимізацію потенціалу гібрида ДКС 4351, покращення водного режиму на ранніх фазах, зниження втрат від посухи під час формування генеративних органів, збільшення маси 1000 насінин, підвищення наповненості качана.

З енергетичної точки зору, ця технологія забезпечує найкраще співвідношення вкладеної і отриманої енергії, що є критичним для систем точного землеробства та ресурсоефективного виробництва.

Узагальнюючі закономірності енергетичних показників можна стверджувати що базова технологія забезпечує лише рівень енергетичної ефективності 3,93. А AQUASORB ефективний лише у нормі 50 кг/га, що підтверджує наявність чіткої оптимальної точки енерговкладень. Тоді як АМАЛГЕРОЛ після заморозків покращує енергетичні показники, але поступається передпосівній обробці. А саме комбінація АМАЛГЕРОЛ + AQUASORB 50 кг/га дає стійкий високий ефект у різних погодних умовах.

Передпосівна обробка АМАЛГЕРОЛ – найсильніший фактор енергетичного зростання, що забезпечує 20–40 % підвищення КЕЕ порівняно з контролем. Саме найвища енергетична ефективність (КЕЕ = 5,51) досягнута у варіанті з поєднанням передпосівного АМАЛГЕРОЛУ та AQUASORB 50 кг/га.

Результати дослідження показують, що жоден один показник (лише урожайність, лише прибуток чи лише КЕЕ) не може бути достатнім критерієм оптимальності технології. Лише комплексна оцінка дозволяє визначити справді ефективні та стабільні рішення.

У зв'язку з цим до інтегрованого аналізу були включені такі параметри: середня урожайність за 3 роки; чистий прибуток та рентабельність; коефіцієнт енергетичної ефективності (КЕЕ); співвідношення енергетичного виходу до енерговитрат; стабільність технологічного ефекту в умовах посухи, заморозків та нормального року.

Отже, варіанти, які є стабільно ефективними (і економічно, і енергетично) це передпосівна обробка АМАЛГЕРОЛОМ (без AQUASORB). Отримано прибуток: 24 040 грн/га, рентабельність: 103,7 % та КЕЕ: 5,11.

Перевагами є мінімальні додаткові витрати, найкращий приріст продуктивності без підвищення ризиків, найвища біологічна стабільність – ефект проявляється в усі роки та оптимальний енергетичний вихід. А до

недоліків слід віднести нижчу урожайність, ніж у варіанті з AQUASORB 50, але економічні витрати теж значно нижчі.

Варіант застосування АМАЛГЕРОЛ для передпосівної обробки насіння + AQUASORB 50 кг/га – абсолютний лідер за КЕЕ. При цьому отримана урожайність: 8,58 т/га, прибуток: 19300 грн/га, рентабельність: 60 % та КЕЕ: 5,51 (найвищий з усіх варіантів).

Це найкращий варіант за енергетичною ефективністю та один із лідерів за прибутковістю. До його переваг слід віднести максимальний вихід продукції, найвищий коефіцієнт перетворення енергії у врожай, синергетичний ефект: покращена стартова енергія росту + покращений водний режим. Він ефективний у посушливі роки (використовує невеликі опади максимально). Однак, собівартість вища, ніж у передпосівної обробки АМАЛГЕРОЛ.

Також ми можемо виділити варіанти, які економічно прибуткові, але енергетично помірні. Застосування АМАЛГЕРОЛ після заморозків дозволяє отримати прибуток: 15995 грн/га, рентабельність: 69,2 % та КЕЕ: 4,20.

Цей варіант стабільно ефективний у стресові весняні роки (як 2024), але поступається передпосівному внесенню. До його переваг можна віднести те що препарат відновлює рослини після пошкодження, підвищує енергетичний вихід та не має ризику надмірних витрат. А до недоліків те що не забезпечує максимальних врожаїв та його дія залежить від того, чи були заморозки.

Комбінація АМАЛГЕРОЛ + AQUASORB 50 кг дозволяє отримати прибуток: 11255 грн/га та КЕЕ: 4,62. Загалом це хороший варіант, але економічно поступається передпосівним схемам обробки насіння.

Також слід вказати на варіанти, які енергетично ефективні, але економічно слабкі. За передпосівної обробки АМАЛГЕРОЛ + AQUASORB 100–200 кг отримано енергетично високі показники (КЕЕ 4,90–5,18), але економічна рентабельність різко падає. Адже ми несемо дуже високі матеріальні витрати та отримуємо прибуток близький до нуля або від’ємний і в рослин немає пропорційної реакції урожайності.

Серед варіантів, які не рекомендовані можна вказати такий як застосування AQUASORB 100–200 кг/га (без АМАЛГЕРОЛУ). При цьому прибуток має відємні значення від –1460 до –20360 грн/га, тобто ми працюємо збитково. А КЕЕ: 3,86–4,05 не перевищує контроль.

Отже, такий варіант систематично збитковий, оскільки мають місце надмірні енерговитрати на виробництво гідрогелю, відсутність відповідного росту урожайності та негативний економічний баланс у всіх роках.

Отже, найбільш ефективними елементами технології, рекомендованими до впровадження (оптимальні за всіма критеріями) є передпосівна обробка АМАЛГЕРОЛОМ (без гідрогелю), що забезпечує найкращу економічну ефективність і стабільність врожайності, другий найкращий варіант за енергетикою та високу рентабельність навіть у посуху.

Передпосівна обробка АМАЛГЕРОЛОМ + AQUASORB 50 кг/га сприяє отриманню найвищої енергетичної ефективності, максимальної урожайності та стабільно високого прибутку та оптимальної балансової точки витрати – вихід.

Ці два варіанти можуть вважатися золотим стандартом технології вирощування гібрида кукурудзи ДКС 4351 у Правобережному Лісостепу.

Додатково рекомендовані варіанти (для специфічних умов року), такі як обробка посівів АМАЛГЕРОЛ після заморозків, адже він ефективний у сезонах із холодами на початку вегетації. Застосування поєднання обробки посівів АМАЛГЕРОЛ + AQUASORB 50 кг, що підходить для господарств із нормальною забезпеченістю ресурсами.

Не рекомендовані варіанти застосування AQUASORB 100–200 кг або поєднання АМАЛГЕРОЛ + AQUASORB у дозах понад 50 кг. А також будь-які схеми з високими нормами гідрогелю без біостимуляції. Причиною того є перевищення енерговитрат і матеріальних витрат над урожайною відповіддю.

Висновки до розділу 6:

Комплексна оцінка економічної та енергетичної результативності технологій вирощування кукурудзи показала, що найбільш ефективними є ті прийоми, які забезпечують оптимальний баланс між урожайністю, витратами на технологію та енерговитратами на її реалізацію. Аналіз включав оцінку чистого прибутку, рівня рентабельності, енергетичного виходу та коефіцієнта енергетичної ефективності (КЕЕ).

У контрольному варіанті (без застосування препаратів) середня врожайність становила 6,02 т/га, а рентабельність – 68 %. Коефіцієнт енергетичної ефективності (3,93) був нижчим, ніж у більшості технологічних варіантів, що свідчить про обмежену здатність базової технології забезпечувати високий рівень енергетичного виходу в умовах коливання гідротермічних факторів.

Застосування гідрогелю AQUASORB у нормі 50 кг/га забезпечувало помірне підвищення урожайності та енергетичного виходу (КЕЕ = 4,28), проте економічна ефективність залишалася нижчою порівняно з більш прогресивними варіантами. Застосування AQUASORB у дозах понад 100 кг/га виявилось економічно збитковим та енергетично нераціональним, що свідчить про наявність чіткої оптимальної норми застосування гідрогелю.

Застосування АМАЛГЕРОЛУ після заморозків забезпечувало стабільний економічний ефект і підвищення КЕЕ до 4,20. Це свідчить про здатність препарату відновлювати фізіологічну активність рослин після ранньовесняних стресів, проте загальна ефективність поступалася передпосівному внесенню.

Комбіноване застосування АМАЛГЕРОЛ + AQUASORB (50 кг/га) дало один із найкращих результатів за енергетичними параметрами (КЕЕ = 4,62) та забезпечило істотне підвищення урожайності. Економічна ефективність цього варіанту була стабільною, однак нижчою порівняно з передпосівним застосуванням АМАЛГЕРОЛУ через вищу собівартість комплексу препаратів.

Найвищі показники економічної та енергетичної ефективності були отримані у варіантах із передпосівною обробкою насіння препаратом

АМАЛГЕРОЛ. Цей прийом забезпечив найвищий чистий прибуток (24040 грн/га), максимальну рентабельність (103,7 %), високий КЕЕ (5,11) при мінімальних додаткових енерговитратах, стабільність ефекту в усі роки незалежно від погодних умов.

Передпосівне застосування АМАЛГЕРОЛУ у поєднанні з AQUASORB 50 кг/га забезпечило найвищу енергетичну ефективність серед усіх варіантів (КЕЕ = 5,51), що свідчить про найкраще співвідношення «вкладена – отримана енергія». Урожайність при цьому була найбільшою (8,58 т/га), а чистий прибуток залишався високим (19300 грн/га), незважаючи на збільшені затрати на матеріал.

Загальний аналіз показав, що високі дози гідрогелю AQUASORB (100–200 кг/га) виявилися системно неефективними за обома критеріями – економічним та енергетичним. Вони призводили до значного збільшення енерговитрат і собівартості без відповідного приросту урожайності, що робить їх недоцільними для виробничого використання.

Узгодженість економічних та енергетичних показників підтверджує, що оптимальними є технології, що поєднують помірні витрати з біологічно обґрунтованою дією препаратів. Технологічні рішення, які забезпечують високу рентабельність, водночас демонструють і високу енергетичну окупність.

Комплексний аналіз дозволив визначити два технологічні рішення, які слід вважати найкращими та рекомендованими до впровадження у виробництво: передпосівна обробка насіння АМАЛГЕРОЛОМ та передпосівна обробка АМАЛГЕРОЛ + AQUASORB 50 кг/га.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне обґрунтування та практичне вирішення наукового завдання з розробки елементів технології вирощування кукурудзи в умовах Лісостепу України.

1. Доведено, що кріопротектор істотно впливає на стартовий ріст і подальший розвиток рослин кукурудзи. У середньому за роки досліджень висота рослин у варіантах із кріопротектором перевищувала контрольні значення на 4–9 %, а площа листкової поверхні – на 8–15 %, що еквівалентно збільшенню асиміляційного апарату на 0,3–0,6 тис. м²/га.

2. Встановлено наявність чітко вираженого оптимуму дії вологоутримувача. За усередненими даними найефективнішими були норми 50–100 кг/га, за яких спостерігалось додаткове зростання ростових показників на 2–4 % та одночасне зниження їх варіабельності. Підвищення норми вологоутримувача до 150–200 кг/га не забезпечувало істотного приросту середніх показників (≤ 2 %) і супроводжувалося зростанням варіації.

3. Узагальнення результатів досліджень показало, що застосування кріопротектора у поєднанні з вологоутримувачем забезпечувало формування більш вирівняних посівів. Коефіцієнт варіації основних морфобіометричних показників у контрольному варіанті в середньому становив 15–17 %, тоді як за оптимального поєднання факторів він знижувався до 6–10 %, тобто стабільність ростових процесів підвищувалася у 2–2,5 рази.

4. Встановлено, що оптимізація водного та фізіологічного стану рослин сприяла більш повній реалізації продуктивного потенціалу кукурудзи. Усереднена за роками урожайність зерна у варіантах із кріопротектором була вищою за контроль на 8–15 %, а за поєднання з вологоутримувачем у нормі 50–100 кг/га сумарний приріст досягав 20–25 %, що в абсолютному вираженні становило +1,2–1,6 т/га.

5. Аналіз усереднених елементів структури врожаю показав, що кількість рядів зерен у качані змінювалася неістотно (відхилення не

перевищували 0,2–0,3 ряду), тоді як кількість зерен у ряду зростала в середньому на 6–11 %, а маса зерна з одного качана – на 8–14 %, що вказує на визначальну роль умов наливу зерна у формуванні кінцевої продуктивності.

6. Якісні показники зерна в середньому за роки досліджень не погіршувалися за дії досліджуваних факторів. Навпаки, у варіантах із помірними нормами вологоутримувача спостерігалася тенденція до зниження вологості зерна на момент збирання на 0,4–0,8 відсоткового пункту, що має практичне значення для зменшення енергетичних витрат на післязбиральне сушіння.

7. Встановлено, що підвищення стабільності продуктивності є одним із ключових ефектів запропонованої технології. Коефіцієнт варіації урожайності зерна знижувався з 16–17 % у контролі до 6–10 % у кращих варіантах, що свідчить про зростання екологічної пластичності агроценозу та підвищення надійності виробництва майже у 2–2,5 рази.

8. Комплексна оцінка отриманих результатів дозволила науково обґрунтувати доцільність використання кріопротектора у поєднанні з вологоутримувачем як елемента адаптивної технології вирощування кукурудзи. Запропонований підхід забезпечує не лише підвищення середніх показників росту та продуктивності на 10–25 %, але й істотне зменшення їх варіабельності, що є критично важливим за умов кліматичної мінливості.

9. Узагальнення результатів дослідження показало, що застосування індексів модифікаційної мінливості та адаптивності (S^2 , CV та IF) дозволяє об'єктивно оцінити стабільність реалізації біологічного потенціалу кукурудзи за різних технологічних поєднань і встановити наявність чітко вираженого адаптивного оптимуму технології, який формується за передпосівного застосування кріопротектора АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС у поєднанні з вологоутримувачем AQUASORB у нормі 50–100 кг/га та забезпечує одночасно підвищення середніх показників продуктивності й якості зерна та зниження їх варіабельності до рівня, характерного для адаптивно стабільних агроценозів в умовах кліматичної мінливості.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для ефективного вирощування кукурудзи в умовах Лісостепу України рекомендується впроваджувати наступні технологічні рішення.

Для господарств в зоні нестійкого або достатнього зволоження чи за відсутності дефіциту вологи в ґрунті:

виконувати передпосівну обробку насіння кріопротектором АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС, з розрахунку 2,5 л/т насіння.

Для господарств, що працюють у зоні недостатнього зволоження або мають високі ризики літніх посух, а також в випадку, коли продуктивна волога на час сівби в шарі ґрунту $0-20 \text{ см} < 25 \text{ мм}$ або в шарі $0-50 \text{ см} < 60 \text{ мм}$ чи $\text{ГТК} < 0,7$:

поєднувати передпосівну обробку насіння кріопротектором АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС (2,5 л/т насіння) з застосуванням вологоутримувача AQUASORB у нормі 50 кг/га.

У роки, коли спостерігаються весняні заморозки на фазі 2–5 листків кукурудзи:

провести обробку посівів АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abdolmaleki A., Bertram H., Dapprich P. et al. Transcriptomic and physiological effects of superabsorbent polymer seed coating on maize under drought stress. *Frontiers in Plant Science*. 2026. Vol. 17. 1736004. doi:10.3389/fpls.2026.1736004
2. Adee E., Roozeboom K., Balboa G. R., Schlegel A., Ciampitti I. A. Drought-tolerant corn hybrids yield more in drought-stressed environments with no penalty in non-stressed environments. *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. 1534.
3. Ali W, Abdulai A, Mishra AK. Recent advances in the analyses of demand for agricultural insurance in developing and emerging countries. *Annual Review of Resource Economics*. 2020;12: 411–430
4. Annicchiarico P. Genotype × environment interactions: challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. *FAO Plant Production and Protection Paper*. Rome : FAO, 2002. № 174. 132 p.
5. Ashraf M., Foolad M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*. 2007. Vol. 59. P. 206–216.
6. Assefa, B. T., Chamberlin, J., Reidsma, P., Silva, J. V., & van Ittersum, M. K. (2020). Unravelling the variability and causes of smallholder maize yield gaps in Ethiopia. *Food Security*, 12, 83–103. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00981-4>
7. Asten PV, Kaaria S, Fermont AM, Delve RJ. Challenges and lessons when using farmer knowledge in agricultural research and development projects in Africa. *Experimental Agriculture*. 2009;45(1): 1–14.
8. Atlin, G. N., Palacios, N., Babu, R., Das, B., Twumasi-Afriyie, S., Friesen, D. K., De Groote, H., Vivek, B., & Pixley, K. V. (2011). Quality Protein Maize: Progress and Prospects. In: Janick, J. (Ed.), *Plant Breeding Reviews*, Vol 34. John Wiley & Sons, Inc., pp. 83–130. <https://doi.org/10.1002/9780470880579.ch3>

9. Awika, J. (2011). Major cereal grains production and use around the world. In: Awika, J. M., Piironen, V., & Bean, S. (Eds.), *Advances in cereal science: implications to food processing and health promotion*. American Chemical Society Atlantic City, NJ, Washington DC, pp. 1–13. <https://doi.org/10.1021/bk-2011-1089.ch001>
10. Bassu S., Brisson N., Durand J. L. et al. How do various maize crop models vary in their responses to climate change factors? *Global Change Biology*. 2014. Vol. 20, № 7. P. 2301–2320. doi:10.1111/gcb.12520
11. Bellon, M. R., Hodson, D., Bergvinson, D., Beck, D., Martinez-Romero, E., & Montoya, Y. (2005). Targeting agricultural research to benefit poor farmers: Relating poverty mapping to maize environments in Mexico. *Food Policy*, 30, 476–492. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2005.09.003>
12. Bender R. R., Haegele J. W., Ruffo M. L., Below F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal*. 2013. Vol. 105, № 1. P. 161–170.
13. Blümmel, M., Grings, E., & Erenstein, O. (2013). Potential for dual-purpose maize varieties to meet changing maize demands: Synthesis. *Field Crops Research*, 153, 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.10.006>
14. Boucher, S., Lybbert, T., Carter, M., Malacarne, J., Erenstein, O., Marenya, P., Flatnes, J. E., & Paul, L. (2019). Bundling innovative risk management technologies to accelerate agricultural growth and improve nutrition. *Feed the Future Innovation Lab for Markets, Risk & Resilience, 2015–2018 Project Report*. University of California, Davis. <https://basis.ucdavis.edu/publication/bundling-innovative-risk-management-technologies-accelerate-agricultural-growth-and>
15. Boundeth S, Nanseki T, Takeuchi S. Analysis on technical efficiency of maize farmers in the northern province of Laos. *Afr J Agric Res*. 2012;7(49): 6579–6587.
16. Burdon, J. J., & Zhan, J. (2020). Climate change and disease in plant communities. *PLoS Biology*, 18, e3000949. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000949>

17. Cairns J. E., Sonder K., Zaidi P. H., Verhulst N. et al. Maize production in a changing climate: impacts, adaptation, and mitigation strategies. *Advances in Agronomy*. 2012. Vol. 114. P. 1–58.
18. Cairns, J., Hellin, J., Sonder, K., Araus, J., MacRobert, J., Thierfelder, C., & Prasanna, B. M. (2013). Adapting maize production to climate change in sub-Saharan Africa. *Food Security*, 5, 345–360. <https://doi.org/10.1007/s12571-013-0256-x>
19. Çakir R. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*. 2004. Vol. 89, № 1. P. 1–16.
20. Calvo P., Nelson L., Kloepper J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*. 2014. Vol. 383. P. 3–41. doi:10.1007/s11104-014-2131-8
21. Canellas L. P., Olivares F. L., Aguiar N. O., Jones D. L. et al. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*. 2015. Vol. 196. P. 15–27.
22. Carter E. K., Melkonian J., Riha S. J., Shaw S. B. Separating heat stress from moisture stress: analyzing yield response to high temperature in irrigated maize. *Environmental Research Letters*. 2016. Vol. 11. 094012.
23. Chung, U., Gbegbelegbe, S., Shiferaw, B., Robertson, R., Yun, J. I., Tesfaye, K., Hoogenboom, G., & Sonder, K. (2014). Modeling the effect of a heat wave on maize production in the USA and its implications on food security in the developing world. *Weather and Climate Extremes*, 5–6, 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2014.07.002>
24. Ciampitti I. A., Vyn T. J. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: a review. *Field Crops Research*. 2012. Vol. 133. P. 48–67.
25. Cooper M., Gho C., Leafgren R., Tang T., Messina C. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US Corn Belt: discovery to product. *Journal of Experimental Botany*. 2014. Vol. 65, № 21. P. 6191–6204.

26. Daryanto S., Wang L., Jacinthe P. A. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11, № 5. e0156362. doi:10.1371/journal.pone.0156362
27. Daryanto S., Wang L., Jacinthe P. A. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: a review. *Agricultural Water Management*. 2017. Vol. 179. P. 18–33.
28. Dios-Palomares Rafaela; Alcaide David; Diz Jose; Jurado Manuel; Prieto Angel; Morantes , et al. Analysis of the efficiency of farming systems in Latin America and the Caribbean considering environmental issues. *Revista Científica-Facultad de Ciencias Veterinarias*. 2015;25(1).
29. Djaman K., Irmak S. Soil water extraction patterns and crop, irrigation, and evapotranspiration water use efficiency of maize. *Agricultural Water Management*. 2012. Vol. 110. P. 31–47.
30. Du Jardin P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*. 2015. Vol. 196. P. 3–14.
31. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966. Vol. 6, № 1. P. 36–40.
32. El Sayed S. A. A., Hellal F., El-Sayed A. A. Optimizing maize yields using growth stimulants under the strategy of replacing chemicals with biological fertilizers. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. 1028906. doi:10.3389/fpls.2022.1028906
33. Erenstein O., Jaleta M., Sonder K., Mottaleb K., Prasanna B. M. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Food Security*. 2022. Vol. 14. P. 1295–1319. doi:10.1007/s12571-022-01288-7
34. Erenstein, O., Chamberlin, J., & Sonder, K. (2021). Estimating the global number and distribution of maize and wheat farms. *Global Food Security*, 30, 100558. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100558>
35. Falkowski, T. B., Chankin, A., Diemont, S. A. W., & Pedian, R. W. (2019). More than just corn and calories: A comprehensive assessment of the yield and nutritional content of a traditional Lacandon Maya milpa. *Food Security*, 11,

389–404. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00901-6>

36. FAO. FAOSTAT: Crops and livestock products. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2025. URL: <https://www.fao.org/faostat>

37. Gai Z., Liu L., Zhang N., Liu J. et al. Proline–nitrogen metabolic coordination mediates cold priming-induced freezing tolerance in maize. *Plants*. 2025. Vol. 14, № 10. 1415. doi:10.3390/plants14101415

38. Gao X, Liu WZ, Dai J. Analysis on regional differences of Xinjiang corn production efficiency based on DEA. *Journal of Technical Economics & Management*. 2008;(5): 118–121.

39. García-Lara, S., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Corn History and Culture. In: Serna-Saldivar, S.O. (Ed.), *Corn (Third Edition)*. AACC International Press, Oxford, pp. 1–18. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00001-2>

40. García-Lara, S., Chuck-Hernandez, C., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Development and Structure of the Corn Kernel. In: Serna-Saldivar, S.O. (Ed.), *Corn (Third Edition)*. AACC International Press, Oxford, pp. 147–163. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00006-1>

41. Grote, U., Fasse, A., Nguyen, T. T., & Erenstein, O. (2021). Food Security and the Dynamics of Wheat and Maize Value Chains in Africa and Asia. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 617009. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.617009>

42. Halpern M., Bar-Tal A., Ofek M., Minz D. et al. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. *Advances in Agronomy*. 2015. Vol. 130. P. 141–174.

43. Hammer G. L., Messina C., Wu A., Cooper M. Biological reality and parsimony in crop models – why we need both in crop improvement! *in silico Plants*. 2019. Vol. 1, № 1. diz010.

44. Hatfield J. L., Dold C. Agroclimatology and wheat production: coping with climate change. *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. P. 224.

45. Hatfield J. L., Dold C. Water-use efficiency: advances and challenges in a changing climate. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. P. 103. doi:10.3389/fpls.2019.00103
46. Hatfield J. L., Prueger J. H. Temperature extremes: effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*. 2015. Vol. 10. P. 4–10. doi:10.1016/j.wace.2015.08.001
47. Hayat S., Hayat Q., Alyemeni M. N. et al. Role of proline under changing environments: a review. *Plant Signaling and Behavior*. 2012. Vol. 7. P. 1456–1466.
48. Hellin, J., Krishna, V. V., Erenstein, O., & Boeber, C. (2015). India's Poultry Revolution: The Rapid Growth of the Poultry Industry and Implications for its Sustenance and the Global Poultry Trade. *International Food and Agribusiness Management Review*, 18, 151–163. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.207008>
49. Hu FL, Chai Q, Gan YT, Yin W, Zhao C, Feng FX. Characteristics of soil carbon emission and water utilization in wheat/maize intercropping with minimal/zero tillage and straw retention. *Zhongguo Nong Ye Ke Xue*. 2016;49(1): 120–131.
50. Hu W. H., Yan X. H., Xiao Y. A. et al. 24-Epibrassinosteroid alleviate drought-induced inhibition of photosynthesis in *Capsicum annuum*. *Scientia Horticulturae*. 2013. Vol. 150. P. 232–237.
51. Izquierdo J., Arriagada O., García-Pintos G. et al. Humic field biostimulation as a sustainable agricultural practice to increase yield of main grains: evidence from on-farm trials. *Frontiers in Plant Science*. 2025. Vol. 16. 1709876. doi:10.3389/fpls.2025.1709876
52. Janicka-Russak M., Kabała K. The role of plasma membrane H⁺-ATPase in salinity stress of plants. *Progress in Botany*. 2015. Vol. 76. P. 77–92.
53. Jia L, Xia Y. Scale efficiency of grain production and influencing factors based on survey data from Heilongjiang, Henan and Sichuan. *Resources Science*. 2017;39(5): 924–933.
54. Jones, P. G., & Thornton, P. K. (2003). The potential impacts of climate

change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change*, 13, 51–59. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(02\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(02)00090-0)

55. Khan M. I. R., Iqbal N., Masood A., Per T. S., Khan N. A. Salicylic acid alleviates adverse effects of heat stress on photosynthesis through changes in proline production and ethylene formation in mustard. *Plant Signaling and Behavior*. 2013. Vol. 8. e26374.

56. Khan M. N., Mobin M., Abbas Z. K., Siddiqui M. H. Nitric oxide-induced synthesis of hydrogen sulfide alleviates osmotic stress adaptations in maize plants. *Nitric Oxide*. 2017. Vol. 68. P. 91–102.

57. Kumar A., Singh A. K., Kaushik P., Khan N. et al. Concurrent improvements in maize yield and drought resistance through breeding advances in the U.S. Corn Belt. *Nature Communications*. 2025. Vol. 16. 9143. doi:10.1038/s41467-025-65111-z

58. Lal R. Soil quality and sustainability of maize production. *Soil and Tillage Research*. 2020. Vol. 198. 104530.

59. Lassaletta L., Billen G., Grizzetti B., Anglade J., Garnier J. 50-year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems. *Environmental Research Letters*. 2014. Vol. 9. 105011.

60. Likhovid P. V. Analysis of the Ingulets irrigation water quality by agronomical criteria. *Success of Modern Science and Education*. 2015. No. 5. P. 10-12.

61. Liu C, Wang YJ, Chen QL, Zhu MD. Research on the measurement of China's corn production technical efficiency and its influencing factors—based on the empirical study of provincial panel data from 1995 to 2015. *World Agriculture*. 2018;(8): 139–145.

62. Liu G., Yang Y., Liu W., Guo X. et al. Optimized canopy structure improves maize grain yield and resource use efficiency. *Food and Energy Security*. 2022. Vol. 11. e375.

63. Lizaso J. I., Ruiz-Ramos M., Rodríguez L. et al. Impact of high temperatures in maize: phenology and yield components. *Field Crops Research*. 2018. Vol. 216. P. 129–140. doi:10.1016/j.fcr.2017.11.013
64. Lobell D. B., Roberts M. J., Schlenker W., Braun N. et al. Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increase in the U.S. Midwest. *Science*. 2014. Vol. 344, № 6183. P. 516–519.
65. Lobell D. B., Schlenker W., Costa-Roberts J. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*. 2011. Vol. 333, № 6042. P. 616–620. doi:10.1126/science.1204531
66. Mahato A. Climate change and its impact on agriculture. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2014. Vol. 4, № 4. P. 1–6.
67. Marchenko T., Lavrynenko Y., Vozhehova R. et al. Formation of corn hybrids productivity of various FAO groups depending on moisture supply conditions. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 10, № 4. P. 175–180.
68. Mazloom N., Khorassani R., Zohury G. H., Emami H., Whalen J. Lignin-based hydrogel alleviates drought stress in maize. *Environmental and Experimental Botany*. 2020. Vol. 175. 104055. doi:10.1016/j.envexpbot.2020.104055
69. Mihai R. A., Ionescu N. E., Cucu E.-N. et al. Evaluating maize hybrids for yield, stress tolerance, and carotenoid content: insights into breeding for climate resilience. *Agronomy*. 2024. Vol. 14, № 12. 2954. doi:10.3390/agronomy14122954
70. Miho A. Comparing technical efficiency of maize smallholder farmers in Tabora and Ruvuma regions of Tanzania: a frontier production approach. *Asian J Agric Rural Develop*. 2017;07(9): 180–197.
71. Morris, M., Mekuria, M., & Gerpacio, R. (2003). Impacts of CIMMYT maize breeding research. In: Evenson, R.E., Gollin, D. (Eds.), *Crop Variety Improvement and its Effect on Productivity: The Impact of International Agricultural Research*. CABI Publishing, Wallingford, pp. 135–158. <https://doi.org/10.1079/9780851995496.0135>
72. Mulwa R, Emrouznejad A, Muhammad L. Economic efficiency of

smallholder maize producers in western Kenya: a DEA meta-frontier analysis. *International Journal of Operational Research*. 2009;4(4): 250–267.

73. NeSmith D. S., Ritchie J. T. Maize (*Zea mays* L.) response to a severe soil water-deficit during grain-filling. *Field Crops Research*. 1992. Vol. 29. P. 23–35.

74. Olaetxea M., Mora V., García A. C., Santos L. A. et al. Humic substances: from molecular structure to plant biostimulation activity. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2018. Vol. 123. P. 521–537.

75. Olarinde LO. Analysis of technical efficiency differentials among Maize farmers in Nigeria. Working Papers. 2011.

76. Pei ZR, Zhou HQ. An empirical study on corn production efficiency in Heilongjiang province based on DEA model. *Heilongjiang Xumu Shouyi*. 2017;(2): 53–56.

77. Petriczenko V. F., Tomashuk O. V. Особливості формування показників якості зерна кукурудзи за різних технологій вирощування в умовах Лісостепу правобережного. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія*. 2019. Т. 10, № 1. С. 29–37.

78. Poltoretskyi S., Prykhodko V., Poltoretska N., et al. Agro-ecological and biological aspects of the components selection for mixed sowings of forage crops. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2019, 9(3), pp. 31–36.

79. Rajanna G. A., Manna S., Singh A. et al. Biopolymeric superabsorbent hydrogels enhance crop and water productivity of soybean–wheat system in the Indo-Gangetic plains of India. *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. 11955.

80. Ramirez-Cabral N. Y. Z., Kumar L., Shabani F. Global alterations in areas of suitability for maize production from climate change and use of climate analogs. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. P. 5910. doi:10.1038/s41598-017-05804-0

81. Ranum, P., Peña-Rosas, J. P., & Garcia-Casal, M. N. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312, 105–112. <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>

82. Ritonga F. N., Chen S. Physiological and molecular mechanism involved in cold stress tolerance in plants. *Plants*. 2020. Vol. 9, № 5. P. 560.
83. Sage R. F., Zhu X.-G. Exploiting the engine of C4 photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*. 2011. Vol. 62, № 9. P. 2989–3000.
84. Sah R. P., Chakraborty M., Prasad K. et al. Impact of water deficit stress in maize: phenology and yield components. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. 2944. doi:10.1038/s41598-020-59689-7
85. Sah R. P., Chakraborty M., Prasad K., Pandit M. et al. Impact of water deficit stress in maize: phenology and yield components. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. 2944.
86. Saha A., Sekharan S., Manna U. Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: a review. *Soil and Tillage Research*. 2020. Vol. 204. 104736. doi:10.1016/j.still.2020.104736
87. Sánchez B., Rasmussen A., Porter J. R. Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review. *Global Change Biology*. 2014. Vol. 20, № 2. P. 408–417. doi:10.1111/gcb.12389
88. Sangoi L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Ciência Rural*. 2001. Vol. 31, № 1. P. 159–168.
89. Satriani A., Catalano M., Scalcione E. The role of superabsorbent hydrogel in bean crop cultivation under deficit irrigation conditions: a case study in southern Italy. *Agricultural Water Management*. 2018. Vol. 195. P. 114–119.
90. Sharma A., Shahzad B., Kumar V. et al. Phytohormones regulate accumulation of osmolytes under abiotic stress. *Biomolecules*. 2019. Vol. 9, № 7. 285.
91. Shi G., Wang X., Liu W., Liu B. et al. Facilitating growth of maize (*Zea mays* L.) by biostimulants: a perspective from the interaction between root transcriptome and rhizosphere microbiome. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2024. Vol. 72, № 7. P. 3415–3426. doi:10.1021/acs.jafc.3c09062
92. Takeshima H, Liu Y. Smallholder mechanization induced by yield-

enhancing biological technologies: Evidence from Nepal and Ghana. *Agricultural Systems*. 2020;184: 102914.

93. Tian HY, Zhu ZY. Analysis of food production efficiency and its influencing factors in China—verification based on Malmquist–DEA and tobit model. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*. 2018;39(12): 161–168.

94. Tollenaar M., Lee E. A. Strategies for enhancing grain yield in maize. *Plant Breeding Reviews*. 2011. Vol. 34. P. 37–82.

95. Tollenaar M., Lee E. A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Research*. 2002. Vol. 75, № 2-3. P. 161–169.

96. Troyer A.F. Background of U.S. hybrid corn: II. Breeding, climate, and food. *Crop Science*. 2004. Vol. 44, № 2. P. 370-380.

97. USDA. World Agricultural Supply and Demand Estimates. WASDE-664. Washington : USDA Office of the Chief Economist, March 2026. 40 p.

98. Wang C, Wu JX. Production technology efficiency and its influencing factors of China's maize industry—based on the provincial panel data. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*. 2015;36(4): 23–32.

99. Wang WJ, He TY, Wu HM, Shi YT. Research on the comprehensive evaluation and influencing factors of green finance development in Beijing–Tianjin–Hebei—based on the empirical analysis of DEA–tobit Model. *Huabei Finance*. 2021;(1): 28–41.

100. Wu Y., Li S., Chen G. Hydrogels as water and nutrient reservoirs in agricultural soil: a comprehensive review of classification, performance, and economic advantages. *Environment, Development and Sustainability*. 2024. Vol. 26. P. 23509–23540. doi:10.1007/s10668-023-03843-4

101. Xu HZ, Guo YY, Wu GC. The impact of farmer differentiation on the utilization efficiency of cultivated land—An empirical analysis based on farm household survey data. *Chinese Rural Economy*. 2012;(6): 31–39+47.

102. Xue C, Zhou H. The choice of agricultural technology under the difference of labour endowment and production conditions: A case study on

popularization of rice transplanting technology in China. *Journal of Chongqing University (Social Science Edition)*. 2019;25(6): 36–49.

103. Yan W., Tinker N. A. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*. 2006. Vol. 86, № 3. P. 623–645.

104. Yang M., Ji C., Chao K. et al. Enhanced wheat yield and flag leaf physiology in saline-alkali soils using modified straw water-retaining agent. *Agricultural Water Management*. 2025. Vol. 307. 109264. doi:10.1016/j.agwat.2024.109264

105. Zhang Q, Meng FJ, Gao JL. Study on maize production efficiency in Xiliao river basin based on DEA model. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Social Science Edition)*. 2020;22(3): 72–77.

106. Zhang SJ. Theoretical analysis of induced technological change and choice of agricultural technological progress pattern. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*. 2009;37(16): 7734–7736+7750.

107. Zhang YF. Thinking on the high-quality development of agricultural insurance. *Management and Technology of Small and Medium-sized Enterprises*. Mid-term Journal. 2021;(5): 144–145.

108. Zhao GY, Wang J, Zhang YJ. Study on the efficiency of maize production based on parametric and non-parametric analysis: Case of Jilin Province. *Issues in Agricultural Economy*. 2009;(2): 15–21+110.

109. Zhao XF, Wei F. Measurement and analysis of agricultural production efficiency in Anhui province. *Journal of Anhui Administration Institute*. 2021;(1): 65–71.

110. Zheng H., Mei P., Wang W., Yin Y. et al. Effects of super absorbent polymer on crop yield, water productivity and soil properties: a global meta-analysis. *Agricultural Water Management*. 2023. Vol. 282. 108290. doi:10.1016/j.agwat.2023.108290

111. Zheng XY, Xu ZG. Resource endowment constraints, factor substitution and inducible technological changes: Taking the mechanization of China's food

production as an example. *China Economic Quarterly*. 2017;16(1): 45–66.

112. Агротехнологічні особливості вирощування озимих та ярих культур у посушливих умовах Південного Степу: Науково-методичні рекомендації. Херсон: Айлант, 2012. С. 15-18.

113. Баланюк І. Ф., Барило С. І., Басун С. Р. Методика визначення економічної ефективності використання в сільському господарстві результатів науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, нової техніки, винаходів

114. Белов Я. В. Напрями оптимізації технологій вирощування кукурудзи за умов змін клімату. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. Миколаїв, 2018. Вип. 4. С. 74–81.

115. Белов Я. В., Вожегова Р. А. Напрями оптимізації технологій вирощування кукурудзи за умов змін клімату. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2018. Вип. 4. С. 74–81.

116. Влащук А. М., Колпакова О. С. Формування врожаю нових гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від елементів технології в умовах степової зони України на зрошенні. *Зрошуване землеробство*. 2016. Вип. 65. С. 86–89.

117. Влащук А.М., Конащук О.П., Дробіт О.С. Динаміка накопичення сирої та сухої надземної біомаси рослинами кукурудзи в умовах зрошення Південного Степу України. *Наукові доповіді НУБІП України. Агронісія: Електронний науковий фаховий журнал*. 2018. № 4 (74). Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/issue/view/301>

118. Влащук А.М., Конащук О.П., Желтова А.Г., Колпакова О.С. Формування врожаю нових гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від елементів технології в умовах степової зони України на зрошенні. *Зрошуване землеробство*. Херсон, 2016. Вип. № 65. С. 86-89

119. Влащук А.М., Конащук О.П., Колпакова О.С. Вплив строків сівби на продуктивність та якість зерна гібридів кукурудзи в умовах зрошення. *Агроекологічний журнал*. Київ, 2017. Вип. № 3. С. 89-95

120. Вожегова Р. А., Белов Я. В. Агроекономічна оцінка технології вирощування гібридів кукурудзи в умовах зрошення півдня України. Зрошуваче землеробство. Херсон, 2019. Вип. 71. С. 154–157.

121. Вожегова Р. А., Белов Я. В. Водоспоживання гібридів кукурудзи залежно від елементів технології в зрошуваних умовах Південного Степу України. Таврійський науковий вісник. Херсон, 2019. Вип. 108. С. 12-18.

122. Вожегова Р. А., Белов Я. В. Вплив густоти стояння рослин та фону живлення на водоспоживання та продуктивність гібридів кукурудзи в умовах зрошення півдня України. Зрошуваче землеробство. Херсон, 2019. Вип. 72. С. 4–7.

123. Вожегова Р. А., Белов Я. В. Динаміка накопичення надземної біомаси гібридами кукурудзи залежно від густоти стояння рослин та удобрення за вирощування в умовах зрошення. Таврійський науковий вісник. Херсон, 2019. Вип. 109. Частина 1. С. 3-9.

124. Вожегова Р. А., Белов Я. В. Продуктивність, структура врожаю та якість зерна гібридів кукурудзи залежно від густоти стояння рослин та фону мінерального живлення за вирощування на зрошуваних землях. Вісник аграрної науки Причорномор'я. Миколаїв, 2019. Вип. 4. С. 89-95

125. Вожегова Р. А., Белов Я. В. Удосконалення технології вирощування гібридів в умовах зрошення півдня України. Вісник аграрної науки Причорномор'я. Миколаїв, 2019. Вип. 2. С. 41–47.

126. Вожегова Р. А., Белов Я. В., Лавриненко Ю. О., Писаренко П. В., Коковіхін С. В., Біднина І. О. Науково-методичні рекомендації з інтенсивної технології вирощування кукурудзи на зерно і насіння на зрошуваних землях півдня України. Херсон, ІЗЗ НААН, 2018. 16 с.

127. Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Белов Я. В., Коковіхін С. В., Марченко Т.Ю., Біднина І.О. Науково-практичні рекомендації з оптимізації технологій вирощування зерна кукурудзи на зрошуваних землях. Херсон, ІЗЗ НААН, 2019. 20 с.

128. Вожегова Р.А., Влащук А.М., Дробіт О.С. Економічна ефективність вирощування гібридів кукурудзи в умовах зрошення Південного Степу України. Вісник Львівського національного аграрного університету. Львів, 2018. Вип. № 22 (1). С. 253-259
129. Вожегова Р.А., Влащук А.М., Дробіт О.С. Продуктивність і економічна ефективність вирощування гібридів кукурудзи різних груп стиглості. Вісник аграрної науки. Київ, 2018. Вип. № 7. С. 18-26.
130. Вожегова Р.А., Влащук А.М., Колпакова О.С. Вирощування кукурудзи на зрошенні в умовах Південного Степу України. Пропозиція. К., 2017. № 3 (259). С. 104-108.
131. Вожегова Р.А., Влащук А.М., Колпакова О.С. Як отримати гарантований врожай зерна кукурудзи на півдні Степу України. Агроном. К., 2017. № 3 (57). С. 116-118.
132. Вожегова Р.А., Влащук А.М., Шапарь Л.В., Дробіт О.С. Фотосинтетична діяльність посівів гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах зрошення. Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. – Умань, 2018. Вип. № 93. Ч. 1: Сільськогосподарські науки. С. 70-80.
133. Вожегова Р.А., Влащук А.Н., Дробит А.С. Новые гибриды кукурузы на юге Украины. AgroOne. Миколаїв, 2018. № 5 (30). С. 12-13.
134. Вожегова Р.А., Влащук А.Н., Колпакова А.С. Убери и сохрани. AgroOne. Миколаїв, 2017. № 9 (22). С. 18-19
135. Гаврилюк В.М. Кукурудза в вашому господарстві. К.: Світ, 2001. 234 с.
136. Державна служба статистики України. Сільське господарство України. Статистичний збірник. Київ : Держстат, 2025. 240 с.
137. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2024 рік. Київ : Український інститут експертизи сортів рослин, 2024. 532 с.

138. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica – 6. Методичні вказівки. Київ, 2007. 55 с.

139. Інтенсифікація технологій вирощування кукурудзи на зерно – гарантія стабілізації урожайності на рівні 90-100 ц/га: практичні рекомендації. Державна установа Інститут сільського господарства степової зони. Дніпропетровськ, 2012. 88 с.

140. Колпакова О. С. Водоспоживання та урожайність гібридів кукурудзи залежно від строків сівби та густоти стояння в умовах зрошення. Зрошуване землеробство. Херсон, 2017. Вип. № 68. С. 69-73.

141. Колпакова О. С. Насінництво кукурудзи в умовах зрошення. Агроном. К., 2014. № 4 (46). С. 102-105.

142. Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю., Михаленко І. В. Реалізація потенціалу гібридів кукурудзи різних груп ФАО за різних рівнів вологозабезпечення. Зрошуване землеробство. 2021. Вип. 75. С. 88–94.

143. Лавриненко Ю.О., Рубан В.Б., Михайленко В.Б. Наукове обґрунтування технології вирощування кукурудзи при краплинному способі поливу: Монографія. Херсон: Айлант, 2014. 198 с.

144. Лебідь Є. М., Циков В. С., Пащенко Ю. М. Селекція гібридів кукурудзи на адаптивність та стресостійкість. Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України. 2020. № 18. С. 12–18.

145. Лебідь Л. Повернення королеви полів. Аграрний тиждень. 2013. № 14-15. С. 22.

146. Лиховид П. В. Ефективність використання мінеральних добрив кукурудзою цукровою залежно від агротехніки її вирощування при зрошенні. Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. 2016. Вип. 95. С. 62-66.

147. Лиховид П. В. Урожайність товарних качанів кукурудзи цукрової залежно від агротехніки в зрошуваних умовах Сухого Степу України. Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. 2015. Вип. 94. С. 42-48.

148. Лиховид П. В. Энергетическая эффективность выращивания кукурузы сахарной в зависимости от агротехнического комплекса. Успехи современной науки и образования. 2016. № 11, Т. 8. С. 22-24.

149. Лиховид П. Водно-фізичні властивості ґрунту на посівах кукурудзи цукрової залежно від глибини його основної обробки. Техніка і технології АПК. 2017. № 1 (88). С. 26-29.

150. Лихочвор В.В. Технологія вирощування сільськогосподарських культур. Львів: НВФ Українські технології, 2002. С.77-79.

151. Маслак О. Зернові перспективи України [Електронний ресурс]. 2009. – № 2. <http://www.propozitsiya.com/?page=149&itemid=2873&number=94>.

152. Маслак О. Переваги – за кукурудзою. Пропозиція. 2013. № 5 (215). С. 32-34.

153. Маслак О. Підсумки року. Пропозиція. 2013. №12 (222). С. 34-37.

154. Медведовський О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. К.: Урожай, 1988. 205 с.

155. Методи визначення показників якості продукції рослинництва. Державна служба з охорони прав на сорти рослин. Український інститут експертизи сортів рослин. К.: Арєфа, 2000. - 152 с.

156. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Стан посівних робіт і виробництва основних сільськогосподарських культур у 2025 році. Київ, 2025.

157. Надь Янош. Кукурудза. Вінниця: ФОП Корзун Д.Ю., 2012. 580 с.

158. Ничипорович Н.А. Фотосинтез и вопросы продуктивности растений. АН, 1963. 64 с

159. Петриченко В.Ф., Томашук О.В. Особливості формування показників якості зерна кукурудзи за різних технологій вирощування в умовах Лісостепу правобережного. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія. Київ: 2019. №1. Т. 10, С. 29-37

160. Писаренко В.А. Зрошення: здобутки, стан, проблеми. Пропозиція.

2003. № 7. С. 18-20.

161. Приходько В. О. Динаміка висоти і наростання маси рослин змішаних посівів кукурудзи залежно від схеми сівби та бобового компоненту. Зб. наук. пр. Уманського НУС, 2012, №1. С. 200–205.

162. Приходько В. О. Продуктивність змішаних посівів кукурудзи з високобілковими культурами у Правобережному Лісостепу України. Зб. наук. пр. Уманського НУС, 2010, №2. С. 122–127.

163. Приходько В. О. Продуктивність змішаних посівів кукурудзи з соєю і бобами в південній частині правобережного Лісостепу України. Зб. наук. пр. Уманського НУС, 2011, №1. С. 149–155.

164. Приходько В. О. Ріст і урожайність змішаних посівів кукурудзи з високобілковими компонентами у південній частині правобережного Лісостепу України. Зб. наук. пр. Уманського НУС, 2011, №3. С. 49–56.

165. Приходько В. О. Структура силосної маси змішаних посівів кукурудзи з високобілковими культурами в залежності від схеми сівби і бобового компоненту. Зб. наук. пр. Уманського НУС, 2012, №2. С. 142–147

166. Приходько В. О., Полторецький С. П. Площа листової поверхні і продуктивність змішаних посівів кукурудзи з бобовими культурами. Аграрний вісник Причорномор'я: збірник наукових праць. Одеса: ОДАУ, 2019. Вип. 92. С. 151–162.

167. Румбах М.Ю. Оптимізація елементів технології вирощування гібридів кукурудзи в умовах північної підзони Степу України. Бюлетень Інституту зернового господарства. 2009. № 36. С. 128-131.

168. Серіков В.О. Селекція нових гібридів кукурудзи та особливості їх насінництва в Степовій зоні України. Таврійський науковий вісник. 2008. Вип. 60. С. 31-37.

169. Томашук О.В. Вплив гідротермічних умов та моделей технології вирощування на поживність зерна кукурудзи в умовах Лісостепу України. Корми і кормовиробництво: міжвід. темат. наук. зб. Ін-т кормів та сіл. госп-ва

Поділля НААН. Вінниця : ТОВ «Видавництво-друкарня Діло», 2018. Вип. 86. С. 113-118;

170. Томашук О.В. Економічна ефективність вирощування гібридів кукурудзи на зерно за різних технологій обробітку ґрунту. Корми і кормовиробництво: міжвід. темат. наук. зб. Ін-т кормів та сіл. госп-ва Поділля НААН. Вінниця : ТОВ «Видавництво-друкарня Діло», 2019. Вип. 87. С. 144-150;

171. Томашук О.В. Продуктивність посівів кукурудзи під впливом різних систем землеробства в умовах Лісостепу правобережного. Корми і кормовиробництво: міжвід. темат. наук. зб. Ін-т кормів та сіл. госп-ва Поділля НААН. Вінниця : ТОВ «Видавництво-друкарня Діло», 2018. Вип. 85. С. 63-70;

172. Томашук О.В., Каменчук Б.Д. Фотосинтетична продуктивність посівів кукурудзи під впливом різних систем землеробства в умовах Лісостепу правобережного. Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. Вип. 100. Т.2 Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2018. С. 91-97

173. Томашук О.В., Оцінка no-till технології вирощування кукурудзи на конкурентоздатність. Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. Вип. 103. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2018. С. 129-133;

174. Ушкаренко В. О., Лиховид П. В. Загальний вміст цукрів і сухої речовини в зерні кукурудзи цукрової на початку його молочно-воскової стиглості залежно від агротехнології. Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. 2016. Вип. 96. С. 119-123.

175. Ушкаренко В. О., Лиховид П. В. Регресійна модель урожайності кукурудзи цукрової залежно від агротехнології в зрошуваних умовах Сухого Степу України. Вісник Уманського національного університету садівництва. 2016. № 2. С. 31–35.

176. Ушкаренко В., Лиховид П. Урожайність кукурудзи цукрової залежно від глибини полицевої оранки, фону живлення та густоти стояння рослин за краплинного зрошення. Техніка і технології АПК. 2016. № 12 (87). С. 11-14.

177. Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть. Під ред. В.В. Моргун. Т. 1. К., 2001. 435 с.

178. Циков В. С., Шевченко М. С., Лебідь Є. М. Інтенсифікація технологій вирощування кукурудзи на зерно – гарантія стабілізації урожайності на рівні 90–100 ц/га: практичні рекомендації. Дніпропетровськ : ДУ ІСГСЗ НААН, 2019. 92 с.

179. Циков В.С., Пащенко Ю.М., Костенко Ю.В. Строки сівби та продуктивність гібридів кукурудзи. Бюл. ін-ту зерн. госп-ва УААН. № 1. 1996. С. 63-68.

ДОДАТКИ

АКТ

впровадження науково-технічного дослідження як результату завершеної науково-дослідної роботи (НДР) у виробничих умовах

1. Назва НДР, що впроваджується: Елементи технології вирощування кукурудзи на зерно: поєднання передпосівної обробки насіння кріопротектором АМАЛГЕРОЛ ЕССЕНС (2,5 л/т насіння) з застосуванням вологоутримувача AQUASORB у нормі 50 кг/га.
2. Якою науково-дослідною установою одержано НДР, що впроваджується та його автори: Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, аспірант Копитов Олександр Валерійович.
3. Назва господарства і його адреса, де проводиться впровадження: Товариство з обмеженою відповідальністю "АГРО-РОСЬ-ІНВЕСТ", Черкаська обл., Черкаський р-н, с. Ташлик, вул. Богдана Хмельницького, 103.
4. Рік і обсяг впровадження: у 2025 році 50 га.
5. Отримано фактичний економічний ефект від впровадження: застосування запропонованих елементів технології вирощування кукурудзи забезпечило підвищення урожайності та зниження собівартості вирощування на 24 % порівняно з прийнятою в господарстві технологією та умовного прибутку в розмірі 7450 грн/га.

Представник ІБКіЦБ
Копитов О. В.

Представник господарства
Генеральний директор
Кашперенко О.С.

