

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ПАВЛІЧЕНКО Костянтин Васильович

УДК 633.15:631.5:662.767.2(043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ОБҐРУНТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ
КУКУРУДЗИ НА СИЛОС ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ В УМОВАХ
ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

201 Агрономія

20 Аграрні науки та продовольство

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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


Костянтин ПАВЛІЧЕНКО

Науковий керівник

Микола ГРАБОВСЬКИЙ,
доктор сільськогосподарських наук,
професор

Біла Церква – 2023

АНОТАЦІЯ

Павліченко К. В. Обґрунтування елементів технології вирощування кукурудзи на силос для виробництва біогазу в умовах Правобережного Лісостепу України. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 – «Агрономія» (20 «Аграрні науки та продовольство»). – Білоцерківський національний аграрний університет, Біла Церква, 2023.

У дисертаційній роботі науково обґрунтовано особливості росту, розвитку й формування урожайності та якості кукурудзи (*Zea Mays*) на силос як біоенергетичної культури для виробництва біогазу, залежно від застосування макро- та мікродобрив в умовах Правобережного Лісостепу України.

Дослідження за темою дисертаційної роботи виконані в 2019–2021 рр. і є складовою частиною ініціативної наукової тематики Білоцерківського національного аграрного університету за завданням «Наукове обґрунтування адаптивних і ресурсозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських та біоенергетичних культур в умовах Центрального Лісостепу України» (номер державної реєстрації 0118 U004125).

У ході дослідження встановлено вплив макро- та мікродобрив на проходження процесів росту, розвитку та формування продуктивності гібридів кукурудзи різних груп стиглості. Виявлено вплив аналізованих факторів на формування показників фотосинтетичної активності гібридів кукурудзи. Обґрунтовано застосування макро- та мікродобрив для підвищення рівня врожайності зеленої маси, виходу біогазу й метану та покращення якісних показників зеленої маси гібридів кукурудзи. Проведено економічну й біоенергетичну оцінку запропонованої технології вирощування культури.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці науково-практичних рекомендацій виробництву щодо використання макро- та мікродобрив у технології вирощування кукурудзи на силос, як біоенергетичної культури для виробництва біогазу. На основі отриманих результатів

розроблено елементи технології вирощування кукурудзи на силос за рахунок підбору енергетичних гібридів та оптимізації системи живлення рослин в умовах Правобережного Лісостепу України.

Удосконалені елементи технології вирощування кукурудзи на силос перевірено у виробничих умовах у господарствах Житомирської і Вінницької областей.

Основні положення дисертаційної праці використано в освітньому процесі Білоцерківського національного аграрного університету для викладання навчальних дисциплін «Біоенергетичні культури» і «Проектування технологічних процесів в рослинництві» за спеціальністю 201 «Агрономія».

Проведено аналіз наукових джерел вітчизняних та зарубіжних вчених щодо поточного стану біогазової галузі у світі та Україні, використання субстратів рослинного походження для отримання біогазу та впливу макро- і мікроелементів на продуктивність кукурудзи та вихід біогазу та метану.

Встановлено, що застосування макро добрив подовжує період вегетації кукурудзи на 1–2 доби, а мікро добрив навпаки скорочує його на одну добу. Виявлено тісні кореляційні зв'язки між тривалістю періоду вегетації гібридів кукурудзи та гідротермічними умовами в роки досліджень.

Висота рослин кукурудзи досягала найвищих значень у фазу воскової стиглості зерна та становила в середньостиглих гібридів 222,0–249,0 см, а в середньоранніх – 212,7–236,7 см. При застосуванні макро добрив збільшення висоти рослин становило 3,4–7,6 %, а мікро добрив – 1,5–1,8%, порівняно з варіантами без їхнього внесення.

Відмічено, що максимальна площа листової поверхні була у фазу цвітіння качанів у гібриду кукурудзи Каріфолс у варіанті із застосуванням $N_{120}P_{90}K_{90}$ та YaraTera Tenso Cocktail + YaraVita Kombiphos – 49,0 тис. м²/га. В усі періоди обліків спостерігалася перевага варіантів із застосуванням макро- та мікро добрив за площею листової поверхні, порівняно з контрольними.

Доведено, що приріст чистої продуктивності фотосинтезу при застосуванні макро добрив становив 2,8–11,6 %, а мікро добрив – 1,0–3,9 %,

порівняно з контрольними варіантами. У середньостиглих гібридів фотосинтетичний потенціал посівів був вищим на 18,6–36,5 % порівняно із середньоранніми. Встановлено тісні кореляційні зв'язки між площею листової поверхні, фотосинтетичним потенціалом та урожайністю зеленої маси гібридів кукурудзи.

Виявлено, що при застосуванні макро- та мікродобрив збільшується маса рослини кукурудзи на 12,7–30,8 % та 0,7–2,8 %, порівняно з варіантами без їхнього використання. Під впливом макродобрив частка листків і стебел у загальній масі рослини зменшується на 0,3–0,8 %, а мікродобрив – на 0,1–0,3 %, тоді як частка зерна в загальній структурі рослин кукурудзи зростає на 0,3–1,2 % та 0,1–0,3 %.

Вміст сухої речовини в рослинах кукурудзи був у межах 31,5–39,9 %, у зерні – 58,6–63,4 %, листках – 34,8–37,1 %, обгортках качана 31,0–34,2 % та стеблi кукурудзи – 22,9–25,3 %. В середньому по досліді найвищим вмістом сухої речовини відзначався гібрид Богатир – 39,2 %. Під впливом макродобрив вміст сухої речовини зменшувався на 0,3–1,3 %, порівняно з контрольними варіантами. Застосування мікродобрив не впливало на вміст сухої речовини.

Урожайність сухої і зеленої маси кукурудзи зростала при внесенні макродобрив на 11,4–21,0 %, а мікродобрив на 1,2–3,9 %, порівняно з варіантами без їхнього застосування. Максимальні показники урожайності зеленої й сухої маси отримано у фазу молочно-воскової стиглості зерна в гібриду Каріфолс на фоні внесення $N_{120}P_{90}K_{90}$ і обробці насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita KombiPhos (3 л/га) – 48,9 і 17,7 т/га, відповідно. На урожайність зеленої маси кукурудзи впливають погодні умови (26,0 %), макродобрива (38,5 %), генотип гібридів (28,5 %) і мікродобрива (6,8 %).

Досліджено, що внесення макро- та мікродобрив призводило до збільшення вмісту крохмалю, сирого протеїну та целюлози в рослинних зразках кукурудзи, порівняно з варіантами без їхнього використання. Одночасно зі зростанням вмісту цих показників спостерігається зниження вмісту клітковини

під впливом добрив. Вихід метану має високий взаємозв'язок із вмістом крохмалю ($r = 0,86$), сирого протеїну ($r = 0,93$) й жиру ($r = 0,95$) та середній із вмістом сирієї золи ($r = 0,57$), целюлози ($r = 0,66$) та геміцелюлози ($r = 0,58$).

Розрахунковий вихід біогазу в середньоранніх гібридів кукурудзи був у межах 9062,0–13716,3 м³/га а в середньостиглих – 11635,3–15589,5 м³/га. Серед гібридів, в середньому по досліді, вищими значеннями цього показника відзначалися КВС 381 (13334,6 м³/га) і Каріфолс (14134,5 тис. м³/га). Застосування макродобрив підвищувало вихід біогазу на 15,2–30,9 %, а мікродобрив – на 1,8–3,6 %, порівняно з варіантами без їхнього використання.

Питомий вихід метану був у межах від 272,1 до 356,6 нм³/т СОР, що в перерахунку на зелену масу кукурудзи становить 97,2–129,2 нм³/т. Найвищий розрахунковий вихід метану отримано в гібриду кукурудзи Каріфолс – 5337,9–6629,5 м³/га. У КВС 381 він становив 5062,0–6128,0 м³/га, Богатир – 4681,0–5856,3 м³/га, Амарос – 3860,6–4849,1 м³/га. Застосування макродобрив дозволяє підвищити вихід біогазу та метану на 11,2–28,4 %, а мікродобрив на 1,6–3,3 %.

Показники чистого прибутку при вирощуванні гібридів кукурудзи для виробництва метану були в межах 94779,0–169191,1 грн/га. Відмічено зростання виробничих витрат при застосуванні макродобрив на 25,2–44,0 %, а мікродобрив на 2,0–4,1% порівняно з варіантами без їхнього використання. Але завдяки збільшенню виходу метану прибутковість вирощування кукурудзи при внесенні макродобрив зростала на 8,2–22,4 %, мікродобрив – на 2,8–5,3 %.

Найбільші показники виходу енергії з метану отримано в гібрида кукурудзи Каріфолс при застосуванні N₁₂₀P₉₀K₉₀ у поєднанні з передпосівною обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) й обприскуванням кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) – 207,5 ГДж/га. Але найвищий показник коефіцієнта енергетичної ефективності (5,0) одержано в гібрида Богатир на варіанті без використання макродобрив.

Ключові слова: кукурудза, біогаз, метан, макродобрива, мікродобрива, обробка насіння, позакореневе підживлення, продуктивність.

ANNOTATION

Pavlichenko K.V. Justification of the elements of technology for growing corn on silage for biogas production in the conditions of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 201 – «Agronomy» (20 «Agrarian Sciences and Food»). – Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, 2023.

In the dissertation, the features of growth, development and formation of yield and quality of green mass of silage corn (*Zea Mays*) as a bioenergy crop for biogas production are scientifically substantiated, depending on the use of macro- and micro-fertilizers in the conditions of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine.

The research on the topic of the dissertation work was carried out during 2019–2021 and is a component of the initiative topic of research of the Bila Tserkva National Agrarian University under the task "Scientific substantiation of adaptive and resource-saving technologies for growing agricultural and bioenergy crops in the conditions of the Central Forest Steppe of Ukraine" (state registration number 0118 U004125) .

The influence of macro- and micro-fertilizers on the growth, development and formation of productivity of corn hybrids of different maturity groups was established. The influence of the analyzed factors on the formation of indicators of photosynthetic activity of corn hybrids was revealed. The use of macro- and micro-fertilizers to increase the level of yield of green mass, the output of biogas and methane, and to improve the quality indicators of the green mass of corn hybrids is substantiated. An economic and bioenergetic assessment of the proposed crop cultivation technology was carried out.

The practical significance of the obtained results lies in the development of scientific and practical recommendations for production regarding the use of macro- and micro-fertilizers in the technology of growing corn for silage as a bioenergy crop for biogas production. On the basis of the obtained results, the elements of the technology of growing corn for silage have been developed due to the selection of

energy hybrids and the optimization of the plant nutrition system in the conditions of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine.

The improved elements of the corn silage growing technology were tested under production conditions in the farms of the Zhytomyr and Vinnytsia regions.

The results of the research were used in the educational process of the Belotserkiv National Agrarian University in the educational disciplines «Bioenergy crops» and «Design of technological processes in crop production» for students of specialty 201 «Agronomy».

The analysis of the scientific sources of domestic and foreign scientists regarding the current state of the biogas industry in the world and Ukraine, the use of substrates of plant origin for obtaining biogas and the influence of macro- and microelements on the productivity of corn and the output of biogas and methane was carried out.

It was established that the use of macrofertilizers extends the vegetation period of corn by 1–2 days, while microfertilizers, on the contrary, shorten it by one day. Close correlations between the duration of the vegetation period of corn hybrids and hydrothermal conditions during the years of research were revealed.

The height of corn plants reached the highest values in the phase of grain wax maturity and was 222,0–249,0 cm in mid-ripe hybrids, and 212,7–236,7 cm in mid-early hybrids. When applying macrofertilizers, the increase in plant height was 3,4–7,6%, and microfertilizers – 1,5–1,8%, compared to options without their application.

The maximum area of the leaf surface was in the flowering phase of the corn hybrid Karifols in the variant with the application of $N_{120}P_{90}K_{90}$ and YaraTera Tenso Cocktail + YaraVita Kombiphos – 49.0 thousand m^2/ha . In all accounting periods, there was an advantage of options with the use of macro- and micro-fertilizers in terms of leaf surface area, compared to control options.

The increase in the net productivity of photosynthesis when using macrofertilizers was 2,8–11,6%, and microfertilizers – 1,0–3,9%, compared to the control options. In medium-ripe hybrids, the photosynthetic potential of crops was higher by 18,6–36,5% compared to medium-early hybrids. Close correlations were

established between leaf surface area, photosynthetic potential and green mass yield of corn hybrids.

With the application of macro- and micro-fertilizers, the weight of the corn plant increases by 12,7–30,8% and 0,7–2,8%, compared to options without their use. Under the influence of macrofertilizers, the share of leaves and stems in the total mass of the plant decreases by 0,3–0,8%, and microfertilizers – by 0,1–0,3%, while the share of grain in the total structure of corn plants increases by 0,3–1,2% and 0,1–0,3%.

The content of dry matter in corn plants was in the range of 31,5–39,9%, in grain – 58,6–63,4%, leaves – 34,8–37,1%, cob wrappers 31,0–34,2 % and corn stalks – 22,9–25,3%. On average, according to the experiment, the hybrid Bogatyr had the highest dry matter content – 39,2%. Under the influence of macrofertilizers, the content of dry matter decreased by 0,3–1,3%, compared to the control variants. Application of microfertilizers did not affect the content of dry matter.

The yield of dry and green mass of corn increased with the application of macrofertilizers by 11,4–21,0% and with microfertilizers by 1,2–3,9%, compared to variants without their use. The maximum yields of green and dry mass were obtained in the phase of milky-waxy grain maturity in the Carifols hybrid against the background of application of N₁₂₀P₉₀K₉₀ and treatment of seeds YaraTera Tenso Cocktail (0,15 kg/t) + spraying of corn in the phase of 3–5 leaves YaraVita Kombiphos (3 l/ha) – 48,9 and 17,7 t/ha, respectively. The yield of the green mass of corn is affected by weather conditions (26,0 %), macrofertilizers (38,5 %), genotype of hybrids (28,5 %) and microfertilizers (6,8 %).

It was investigated that the use of macro- and micro-fertilizers led to an increase in the content of starch, crude protein and cellulose in plant samples of corn. Simultaneously with the increase in the content of these indicators, there is a decrease in the fiber content under the influence of fertilizers. The yield of methane has a high correlation with the content of starch ($r = 0,86$), crude protein ($r = 0,93$) and fat ($r = 0,95$) and medium with the content of crude ash ($r = 0,57$), cellulose ($r = 0,66$) and hemicellulose ($r = 0,58$).

The estimated output of biogas in mid-early hybrids of corn was 9062,0–13716,3 m³/ha, and in mid-ripening hybrids – 11635,3–15589,5 m³/ha. Among the hybrids, on average, the highest values of this indicator were noted for KWS 381 (13334,6 m³/ha) and Carifols (14134,5 thousand m³/ha). The use of macrofertilizers increased biogas yield by 15,2–30,9%, and microfertilizers – by 1,8–3,6%, compared to options without their use.

The specific output of methane was in the range from 272,1 to 356,6 m³/t of dry organic matter, which in terms of green mass of corn is 97,2–129,2 m³/t. The highest estimated yield of methane was obtained in the corn hybrid Carifols – 5337,9–6629,5 m³/ha. In KWS 381 it was 5062,0–6128,0 m³/ha, Bogatyr – 4681,0–5856,3 m³/ha, Amarosa – 3860,6–4849,1 m³/ha. The use of macrofertilizers increases the yield of biogas and methane 11,2–28,4%, and microfertilizers by 1,6–3,3%.

Indicators of net profit were in the range of 94779,0–169191,1 UAH. An increase in production costs with the use of macro-fertilizers by 2532–4430% and micro-fertilizers by 230–431% was noted compared to options without their use. The profitability of corn cultivation increased by 8,2–22,4% with macrofertilizers, and 2,8–5,3% with microfertilizers.

The highest output of energy from methane was obtained in the corn hybrid Carifols when N₁₂₀P₉₀K₉₀ was used in combination with pre-sowing treatment of YaraTera Tenso Cocktail seeds (0,15 kg/t) and spraying of corn in the phase of 3–5 leaves with YaraVita Kombiphos (3 l/ha) – 207, 5 GJ/ha. But the highest indicator of the energy efficiency coefficient (5.0) was obtained in the hybrid Bogatyr on the variant without the use of macrofertilizers.

Key words: corn, biogas, methane, macrofertilizers, microfertilizers, seed treatment, foliar fertilization, productivity.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. **Павліченко К.В.**, Грабовський М.Б. Формування біометричних показників та накопичення сирової надземної маси гібридами кукурудзи під впливом макро- і мікродобрих. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 123. С. 98-111. DOI: 10.32851/2226-0099.2022.123.14 (планування та проведення досліджень, аналіз і узагальнення результатів, написання статті, частка участі – 50 %).

2. **Павліченко К.В.**, Грабовський М.Б. Урожайність зеленої і сухої маси гібридів кукурудзи та вихід біогазу залежно від застосування макро- і мікродобрих. *Зрошуване землеробство*. 2022. Вип. 77. С. 79-85. DOI: 10.32848/0135-2369.2022.77.17 (планування та проведення досліджень, аналіз і узагальнення результатів, написання статті, частка участі – 50 %).

3. Павліченко К.В. Формування елементів структури врожаю гібридами кукурудзи на силос під впливом макро і мікродобрих. *Аграрні інновації*. 2022. № 12. С. 77-84. DOI: 10.32848/agrar.innov.2022.12.12.

4. Грабовський М. Б., **Павліченко К.В.**, Козак Л. А., Качан Л. М. Енергетична ефективність вирощування гібридів кукурудзи для виробництва біогазу за використання макро- і мікродобрих. *Зернові культури*. 2022. № 1. С. 100-107. DOI: 10.31867/2523-4544/0212 (планування та проведення досліджень, аналіз і узагальнення результатів, написання статті, частка участі – 40 %).

Стаття у науковому виданні, включеному до міжнародної наукометричної бази даних Scopus:

1. Grabovskyi M., Kucheruk P., **Pavlichenko K.**, Roubík H. Influence of macronutrients and micronutrients on maize hybrids for biogas production. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. 30 p. 70022–70038. DOI:

10.1007/s11356-023-27235-3 (планування та проведення досліджень, аналіз і узагальнення результатів, написання статті, частка участі – 30 %)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Грабовський М.Б., Городецький О.С., Павліченко К.В. Формування продуктивності кукурудзи на силос залежно від рівня мінерального живлення. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, лісовому та садово-парковому господарстві», м. Біла Церква, 30 жовтня 2020 року. С. 3-5 (авторство 40 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез).

2. Грабовський М. Б., Павліченко К. В. Перспективи вирощування біоенергетичних гібридів кукурудзи компанії KWS для виробництва біогазу. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи еко-інноваційного розвитку сільськогосподарського виробництва», м. Полтава, 20 листопада 2020 року. С. 114-116 (авторство 50 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез).

3. Павліченко К.В. Кореляційні зв'язки між кількісними ознаками та виходом біогазу у гібридів кукурудзи. Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів. с. Центральне, 23 квітня 2021 року. С. 82.

4. Грабовський М.Б., Козак Л.А., Павліченко К.В. Зміна фотосинтетичних показників посівів кукурудзи під впливом макро- і мікро добрив. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Аграрна освіта та наука : досягнення і перспективи розвитку», м. Біла Церква, 4-5 березня 2021 року. С. 187-189 (авторство 40 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез).

5. Грабовський М. Б., Павліченко К. В. Накопичення сухої маси рослинами кукурудзи залежно від удобрення та позакореневого підживлення. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів, молодих учених та спеціалістів, м. Харків, 3 грудня 2021 року. С. 26-27

(авторство 50 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез).

6. Грабовський М.Б., **Павліченко К.В.** Вплив макро- та мікродобрив на тривалість міжфазних періодів рослин кукурудзи. Матеріали міжнародної наукової Інтернет-конференції «Наукові здобутки селекціонерів ННЦ «Інститут землеробства НААН» – на благо майбутнього, присвячена 120-річчю від дня народження вченого, аграрія, селекціонера Данила Лихваря», м. Вінниця, 8 вересня 2022 року. С. 83-86 *(авторство 50 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез).*

7. Грабовський М.Б., Roubík Нупек, Кучерук П.П., **Павліченко К.В.** Розрахунковий вихід біогазу і метану у гібридів кукурудзи залежно від застосування добрив. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, електроенергетиці, лісовому та садово-парковому господарстві», м. Біла Церква, 20 жовтня 2022 року. С. 22-24 *(авторство 35 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез).*

ЗМІСТ

	ст.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ.....	15
ВСТУП.....	16
РОЗДІЛ 1 АГРОТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ ЯК БІОЕНЕРГЕТИЧНОЇ КУЛЬТУРИ.....	22
1.1 Біоенергетичні культури для виробництва біогазу.....	22
1.2 Використання кукурудзи як біоенергетичної культури.....	29
1.3 Застосування макро- та мікродобрих при вирощуванні кукурудзи.....	35
Висновки до розділу 1.....	45
РОЗДІЛ 2 УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	46
2.1 Ґрунтово-кліматичні умови зони проведення досліджень.....	46
2.2 Погодні умови в роки досліджень.....	48
2.3 Схема та методика проведення досліджень.....	52
2.4 Характеристика гібридів кукурудзи та мікродобрих.....	54
2.5. Технологія вирощування кукурудзи на дослідних ділянках.....	56
Висновки до розділу 2.....	57
РОЗДІЛ 3 ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ І РОЗВИТКУ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ПІД ВПЛИВОМ ДОСЛІДЖУВАНИХ ФАКТОРІВ.....	58
3.1 Тривалість міжфазних та вегетаційного періодів гібридів кукурудзи.....	58
3.2 Висота рослин кукурудзи.....	62
3.3 Фотосинтетична діяльність посівів кукурудзи.....	66
Висновки до розділу 3.....	77
РОЗДІЛ 4 ЗМІНА ПРОДУКТИВНОСТІ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ПІД ВПЛИВОМ ДОСЛІДЖУВАНИХ ФАКТОРІВ.....	79
4.1 Структура врожаю гібридів кукурудзи.....	79
4.2 Динаміка накопичення сухої речовини кукурудзи.....	89
4.3 Урожайність зеленої маси кукурудзи.....	98
Висновки до розділу 4.....	106

РОЗДІЛ 5 ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ЗЕЛЕНОЇ МАСИ КУКУРУДЗИ ТА ВИХІД БІОГАЗУ І МЕТАНУ.....	109
5.1 Вплив досліджуваних факторів на зміну якісних показників зеленої маси кукурудзи.....	109
5.2 Розрахунковий вихід біогазу та метану з зеленої маси гібридів кукурудзи.....	116
Висновки до розділу 5.....	121
РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ ЯК БІОЕНЕРГЕТИЧНОЇ КУЛЬТУРИ.....	123
6.1 Економічна ефективність.....	123
6.2 Енергетична ефективність.....	125
Висновки до розділу 6.....	130
ВИСНОВКИ.....	131
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	134
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	135
ДОДАТКИ.....	163

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

ВС – воскова стиглість зерна
г – грам
га – гектар
ГДж – гіга джоуль
грн – гривня
ГТК – гідротермічний коефіцієнт
д. р. – діюча речовина
ЄС – Європейський союз
К_Е – енергетичний коефіцієнт
К_{ЕЕ} – коефіцієнт енергетичної ефективності
м² – метр квадратний
м³ – метр кубічний
МВС – молочно-воскова стиглість зерна
МДж – мега джоуль
МЕА – Міжнародне енергетичне агентство
МС – молочна стиглість зерна
НІР₀₅ – найменша істотна різниця
н.е. – нафтовий еквівалент
см – сантиметр
СОР – суха органічна речовина
СР – суха речовина
т – тонна
ТПВ – тверді побутові відходи
ФПП – фотосинтетичний потенціал посіву
шт. – штук
К – калій
N – азот
P – фосфор

ВСТУП

Розвиток відновлюваних джерел енергії останніми роками має не лише економіко-енергетичний, а й екологічний аспект, тому отримання енергії з рослинної біомаси – важливе завдання в багатьох країнах світу [64]. Такий стратегічний напрям використання енергії відповідає умовам сталого розвитку й стабільного існування суспільства. У зв'язку із постійним дефіцитом викопних палив зростає інтерес до їх заміни на продукти переробки рослинної сировини. Останнім часом до цього процесу долучилася й Україна, для якої технології виробництва та використання різних видів біопалив (твердого, біодизелю, біогазу та інших) має важливе економічне значення [72].

Загальний потенціал виробництва біогазу з відходів сільськогосподарського виробництва, харчової переробної промисловості, ТПВ, стічних вод комунального господарства та агропромислових підприємств в Україні за сучасного рівня виробництва та споживання оцінюється в 3,2 млрд м³ метану на рік. Ще 3,3 млрд м³ метану можна одержати при вирощуванні енергетичної кукурудзи (*Zea mays L.*) (або інших енергетичних культур) на площах 1 млн га (3 % від загальної площі орних земель в Україні). Енергетичний потенціал соломи зернових колосових культур, побічної продукції та відходів виробництва кукурудзи на зерно і соняшника в Україні збільшився в три рази – із 2,8 млн т н. е. у 2000 р. до 8,5 млн т н. е. у 2020 р. Зважаючи на це, вирощування кукурудзи на силос для виробництва біогазу є перспективним напрямком. На сьогоднішній день важко точно оцінити вплив наслідків воєнних дій в Україні на величину й структуру енергетичного потенціалу біомаси та на особливості розвитку біогазової галузі України у післявоєнні роки [21].

Актуальність теми. В Україні посівні площі під кукурудзою на зерно у 2019 р. становили 4,97, 2020 р. – 5,38, 2021 р. – 5,34 і в 2022 р. – 4,64 млн га, а кукурудзи на силос – 230,4, 217,6, 210,5 і 203,6 тис. га з урожайністю зеленої маси 23,7, 24,3, 25,4 і 22,8 т/га, відповідно. При цьому потенціал урожайності зеленої маси кукурудзи становить 70,0–90,0 т/га [146]. Зниження валового

збору кукурудзи на силос та щорічне коливання його обсягу викликано, перш за все, нестабільністю кон'юнктури ринку, що зумовлює щорічне коливання посівних площ цієї культури [42]. У той же час в Україні відсутня інформація про посівні площі, урожайність та валові збори кукурудзи для виробництва біогазу або біоетанолу.

В умовах постійного зростання цін на енергоресурси та мінеральні добрива постає необхідність у пошуку технологічних рішень при вирощуванні кукурудзи на силос, які б забезпечували високу ефективність, підвищували продуктивність посівів та можливість її використання в біоенергетичних цілях.

Для підвищення рівня реалізації біологічного потенціалу кукурудзи як біоенергетичної культури для виробництва біогазу має важливе значення впровадження у виробництво сучасних ефективних елементів технологій її вирощування, які включають вирощування нових енергетичних гібридів та застосування макро- та мікродобрив. Удосконалення елементів технології вирощування енергетичних гібридів сприятиме збільшенню урожайності зеленої маси та виходу біогазу і метану. У сукупності це зумовило вибір теми, визначення мети, завдань і структури дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дослідження за темою дисертаційної праці виконані впродовж 2019–2022 рр. і є складовою частиною ініціативної наукової тематики Білоцерківського національного аграрного університету за завданням «Наукове обґрунтування адаптивних і ресурсозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських та біоенергетичних культур в умовах Центрального Лісостепу України» (номер державної реєстрації 0118 U004125).

Метою дослідження є вивчення особливостей впливу макро- та мікродобрив на формування продуктивності гібридів кукурудзи та вихід біогазу.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконати такі завдання:

– встановити оптимальну групу стиглості гібридів кукурудзи для виробництва біогазу;

- дослідити особливості росту, розвитку рослин гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрих;
- встановити залежності формування фотосинтетичної продуктивності гібридів кукурудзи різних груп стиглості від використання макро- та мікродобрих;
- виявити вплив макро- та мікродобрих на урожайність зеленої і сухої маси гібридів кукурудзи та її якісні показники;
- провести розрахунок виходу біогазу та енергії з біогазу залежно від впливу макро- та мікродобрих;
- обґрунтувати економічну та енергетичну ефективність застосування макро- та мікродобрих.

Об'єкт досліджень – процеси росту, розвитку рослин кукурудзи та формування продуктивності залежно від рівня мінерального живлення.

Предмет досліджень – гібриди кукурудзи, застосування макро- та мікродобрих.

Методи досліджень. *Полевий* – для вивчення взаємодії предмета досліджень з погодними умовами Правобережного Лісостепу України; *візуальний* – для визначення фенологічних змін в онтогенезі рослин кукурудзи; *вимірювальний* та *ваговий* – для встановлення біометричних показників росту й розвитку рослин, площі листкової поверхні, сухої речовини і формування врожаю зеленої маси культури; *фізіологічний* – визначення фотосинтетичної продуктивності рослин; *лабораторний* – для встановлення якісних показників зеленої маси кукурудзи; *розрахунково-порівняльний* – для визначення економічної та енергетичної ефективності та виходу біогазу і біометану; *дисперсійний, кореляційний і регресійний* – для визначення вірогідності різниць між факторами та парних і множинних залежностей.

Наукова новизна дослідження. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею у якій на основі теоретичного узагальнення та експериментального вивчення особливостей формування врожайності й якості зеленої маси кукурудзи, *уперше* в умовах Правобережного Лісостепу України

виявлено залежності впливу макро- та мікродобрів на проходження процесів росту, розвитку та фотосинтетичну активність рослин гібридів кукурудзи, як біоенергетичної культури. Встановлено високу ефективність макро- та мікродобрів у формуванні продуктивності та якості зеленої маси гібридів кукурудзи. Доведено залежність між виходом біогазу та метану з зеленої маси кукурудзи та використанням макро- та мікродобрів. Проведено економічну й біоенергетичну оцінку запропонованої технології вирощування кукурудзи.

Удосконалено систему застосування макро- та мікродобрів в технології вирощування кукурудзи на силос, як біоенергетичної культури для виробництва біогазу.

Набули подальшого розвитку наукові положення щодо вивчення формування врожайності та якості зеленої маси кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці науково-практичних рекомендацій виробництву щодо використання макро- та мікродобрів у технології вирощування кукурудзи на силос, як біоенергетичної культури для виробництва біогазу. На основі отриманих результатів розроблено елементи технології вирощування кукурудзи на силос за рахунок підбору енергетичних гібридів та оптимізації системи живлення рослин в умовах Правобережного Лісостепу України.

Удосконалені елементи технології вирощування кукурудзи на силос було впроваджено у виробництво в СТОВ «Україна» Іллінецького району Вінницької області, ФГ «Пляхівське» Хмільницького району Вінницької області, СТОВ «Мрія» Козятинського району Вінницької області, ФГ «Світанок 07» Попільнянського району Житомирської області.

Основні положення дисертаційної роботи використано в освітньому процесі Білоцерківського національного аграрного університету для викладання навчальних дисциплін «Біоенергетичні культури» і «Проектування технологічних процесів в рослинництві» за спеціальністю 201 «Агрономія».

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним дослідженням. Автором розроблено програму досліджень, узагальнено дані наукових джерел, проведено польові та лабораторні експерименти, статистичний аналіз отриманих даних, розраховано вихід біогазу та біометану та економічну й енергетичну ефективність вирощування кукурудзи на силос. Доведено практичну доцільність використання макро- та мікродобрив при вирощуванні кукурудзи на силос як біоенергетичної культури, розроблено науково-практичні рекомендації виробництву, підготовлено та опубліковано наукові статті та матеріали конференцій.

Апробація результатів дисертації. Дисертаційні матеріали щороку було заслухано на засіданнях кафедри технологій в рослинництві та захисту рослин Білоцерківського національного аграрного університету (2019–2022 рр.), Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, лісовому та садово-парковому господарстві» (м. Біла Церква, 30 жовтня 2020 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи еко-інноваційного розвитку сільськогосподарського виробництва» (м. Полтава, 20 листопада 2020 р.), ІХ Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених і спеціалістів (с. Центральне, 23 квітня 2021 р.), ІІ Міжнародній науково-практичній конференції «Аграрна освіта та наука : досягнення і перспективи розвитку» (м. Біла Церква, 4–5 березня 2021 р.), Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів, молодих учених та спеціалістів (м. Харків, 3 грудня 2021 р.), Міжнародній науковій інтернет-конференції «Наукові здобутки селекціонерів ННЦ “Інститут землеробства НААН” – на благо майбутнього, присвяченій 120-річчю від дня народження вченого, аграрія, селекціонера Данила Лихваря» (м. Вінниця, 8 вересня 2022 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, електроенергетиці, лісовому та садово-парковому господарстві» (м. Біла Церква, 20 жовтня 2022 р.).

Публікації результатів досліджень. Основні результати дисертації висвітлено у 4 фахових публікаціях України, 1 статті у виданні, індексованому в

міжнародній наукометричній базі Scopus (1 кuartиль), 7 працях апробаційного характеру в збірниках матеріалів науково-практичних конференцій.

Обсяг і структура дисертації. Дисертацію викладено на 192 сторінках комп'ютерного набору (з них основного тексту – 134 сторінки). Робота містить 29 таблиць, 27 рисунків та 18 додатків. Складається зі вступу, 6 розділів, висновків та рекомендацій виробництву. Список використаних джерел налічує 252 найменування, з яких 103 представлені латиницею.

РОЗДІЛ 1

АГРОТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ ЯК БІОЕНЕРГЕТИЧНОЇ КУЛЬТУРИ

1.1. Біоенергетичні культури для виробництва біогазу

Біометан як близький аналог природного газу може використовуватися для виробництва теплової та електричної енергії, у якості транспортного моторного палива, а також у побуті та як сировина для хімічної промисловості. Виробництво біометану відповідає ідеї циркулярної економіки, оскільки воно перетворює потоки побічної продукції сільського господарства або промислових та побутових відходів в енергію і, одночасно, за рахунок використання дигестату, забезпечуючи повернення поживних речовин до поля [15, 21].

За оцінками Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) потенціал виробництва біогазу у світі складає 570 млн т н.е. (нафтовий еквівалент) (майже 680 млрд м³). Загальний потенціал виробництва біометану складає 730 млн т н.е. Потенціал анаеробного зброджування становитиме 38 млрд м³ у 2030 р. та має збільшитися до 91 млрд м³ у 2050 р. Основною сировиною у 2030 р. буде гній (33 %), сільськогосподарські рештки (25 %) та покривні культури, вирощені після або до отримання основного врожаю певної сільськогосподарської культури (21 %). У 2050 р. домінуватимуть проміжні культури (47 %), а також важливе значення матиме гній (19 %) і сільськогосподарські відходи (17 %) [161].

За даними компанії Shell, у 2021 р. виробництво біометану у світі становило 4,3 млрд м³/рік (3,0 млн т/рік). Близько 60% біометану було вироблено в Європейському союзі (ЄС). Але навіть у ЄС використовується лише 2 % від наявного потенціалу. В інших регіонах цей показник трохи більший – 0,5 % потенціалу [160].

У 2020 р. у ЄС вироблено 18 млрд м³ біогазу та біометану. Згідно з планом REPowerEU європейський сектор біогазу та біометану буде постачати 35 млрд

м³ біометану до 2030 р., підтримуючи ЄС у досягненні кліматичних цілей та енергетичної безпеки. Сумарне виробництво біометану та біогазу у 2030 р. має становити 42 млрд м³, а у 2050 р. – вже 125 млрд м³. Таким чином, уже у 2030 р. частка біометану має перевищити 80 % у загальному виробництві біогазу. Модернізація наявних біогазових установок для виробництва великої кількості біометану та розширення виробничих потужностей забезпечить ЄС більш стійкою енергетичною системою [15].

Близько 65 % споживаного природного газу в Україні забезпечується власними ресурсами (20,2 з 30,9 млрд м³ у 2020 р.), решта 35 % – за рахунок імпорту [59]. Загальна кількість споживання природного газу протягом останніх 15 років постійно зменшувалася. Заміна споживання природного газу альтернативними джерелами є питанням національної безпеки, особливо в умовах воєнного конфлікту та можливого повного припинення транзиту російського газу. Одна з можливостей заміщення імпортного природного газу полягає у виробництві та використанні біогазу й біометану.

В Україні на кінець 2021 р. побудовані та перебували в експлуатації 77 біогазових підприємств, із них 31 – системи збирання та утилізації біогазу на полігонах ТПВ, решта – класичні біогазові установки, що працюють на сільськогосподарських та промислових відходах. Загалом протягом 2021 р. отримано близько 260 млн м³ біогазу. Майже весь біогаз використаний для виробництва електроенергії [162].

Сировинна база для виробництва біометану може охоплювати 12 окремих категорій органічних матеріалів. Доцільність та потенційний масштаб залучення тих чи інших видів сировини для виробництва біометану визначається низкою факторів. Серед основних факторів впливу – питома вартість одиниці енергії в сировині з урахуванням доставки до біогазової станції (грн/МДж), рівень технологічної складності переробки в біогаз, доступність сировини в радіусі доставки [15, 17].

Енергетичні культури, спеціально вирощені для отримання біопалива, є однією з альтернатив диверсифікації сільськогосподарського виробництва та

покращення бізнесу в аграрній сфері. Енергію біогазу можна використовувати для покращення енергетичного балансу господарств, а надлишок енергії можна продавати, наприклад, в електричну мережу [201].

Біогазові установки повинні працювати щонайменше 8000 годин на рік, але рослинна біомаса виробляється лише протягом вегетаційного періоду, і її склад змінюється за стадіями розвитку рослин. Тому кормові рослини не рекомендують для виробництва біогазу через значні варіації їхнього хімічного складу, які впливають на кількість і якість виробленого біогазу. Склад вихідної сировини має бути постійним, щоб гарантувати надійне анаеробне зброджування. Цієї мети можна досягти шляхом силосування свіжої біомаси [193]. Оптимальні культури для виробництва біогазу повинні характеризуватися високим виходом сухої речовини з одиниці площі і вмістом легкозброджуваних сполук, а їхня біомаса мусить легко зберігатися та бути доступною протягом усього календарного року [158, 202]. Вирощування енергетичних культур має приносити екологічні переваги [171, 182, 232].

У ЄС енергетичні культури вирощуються на 117,4 тис. га, зокрема в Польщі цей показник становить 17,8 тис. га, у Німеччині – 15,8 тис. га. В Україні під енергетичні рослини відведено лише 5,4 тис. га земель. При цьому є близько 4 млн га деградованих та малопродуктивних сільськогосподарських угідь, на яких вирощування традиційних сільськогосподарських культур є економічно неефективним [16].

Як субстрати для біогазових установок велике значення мають рослини з високим потенціалом виходу сухої речовини та вмістом метану більше ніж 50 %. При цьому важливим є високий вміст вуглеводів та низькі показники геміцелюли і лігніну [150]. У той же час молекулярна структура деяких рослинних субстратів мало доступна для мікроорганізмів і їх ферментів, тому вони досить повільно зброджуються в біогазових установках [175].

Суттєвий вплив на урожайність біомаси та вихід біометану мають генетичні особливості сільськогосподарських культур та технологія їхнього

виросування. Важливою також є фаза, у якій проводиться збирання культур [187].

Енергетичні культури повинні характеризуватися не лише високою врожайністю біомаси, але й низькими витратами енергії, пов'язаними з сільськогосподарськими операціями [215]. Лише культури з високим енергетичним потенціалом і високим коефіцієнтом енергоефективності гарантують безперервне та надійне постачання сировини для перетворення в енергію [149, 165].

Останнім часом використання енергетичних культур зросло в деяких європейських країнах (Німеччина та Австрія). Сумісне зброджування різних субстратів, у тому числі тваринного походження, сприяє підвищенню ефективності процесу отримання біогазу. У той же час у зв'язку із значним впливом біоенергетичних культур на продовольчу безпеку відбулося введення обмежень на їхнє використання для виробництва біогазу в деяких європейських країнах [233].

Вирощування лише однієї культури (кукурудзи) як субстрату для біогазової установки може поставити під загрозу цілісність сівозміни [196]. Кукурудза відносно добре пристосована до монокультури [240], але біогазові установки повинні працювати протягом тривалого часу, щоб гарантувати повернення інвестицій. Довгострокові монокультури також мають шкідливий вплив на довкілля (деградація ґрунту), економіку (нижча врожайність біомаси, вищі ціни на зерно на світовому ринку) та продовольчу безпеку [235, 243]. Зважаючи на це, біогазові установки повинні забезпечуватися іншими типами субстратів, включаючи однорічні та багаторічні культури [174, 227]. Ці культури є не тільки джерелами цінної біомаси, вони також сприяють біорізноманіттю сільськогосподарських екосистем [236].

Одним з перспективних видів сировини для біогазу, що не конкурує з харчовими продуктами та кормами, є проміжні культури. Використання зібраної маси таких культур на біогаз із подальшим поверненням дигестату на ці ж поля дозволяє суттєво розширити потенціал залучення ресурсів ріллі в

енергетичний сектор без шкоди агровиробництву. За даними ЕВА [177], понад чверть потенціалу виробництва біометану може бути забезпечено завдяки використанню проміжних культур.

Сорго цукрове (*Sorghum saccharatum* L./Moench.) є альтернативним джерелом біомаси для виробництва енергії. Його можна використовувати у виробництві кормів, біоетанолу або біогазу [27, 36, 44, 167, 169, 176, 184, 196].

Сорго більш стійке до посухи, ніж кукурудза, і врожайність його біомаси є вищою в роки з дефіцитом опадів [27, 152, 184]. У деяких регіонах світу енергетичні культури необхідно зрошувати, і вони конкурують за воду з харчовими культурами [169]. Сорго також краще адаптується до різноманітних умов навколишнього середовища порівняно з кукурудзою [30, 252]. Його можна вирощувати як на легких піщаних, так і на важких глинистих ґрунтах [241]. Сорго більш стійке до різноманітних умов навколишнього середовища, а його виробництво є менш енергоємним порівняно з кукурудзою [184, 197].

Вихід метану із сорго коливається в різних дослідженнях у межах від 262 $\text{нм}^3/\text{кг СОР}$ [220] до 323 $\text{нм}^3/\text{кг СОР}$ [156]. За даними, отриманими А. Mahmood і В. Nonemeier [209], встановлено найвищі показники виходу біогазу та метану із сорго: 721 та 387 $\text{нм}^3/\text{кг СОР}$ відповідно.

За результатами лабораторних досліджень, проведених у Фінляндії, найвищий вихід метану був у кукурудзи – 4000–9200 $\text{м}^3/\text{га}$, а у волошки лугової – 2700–6100 $\text{м}^3/\text{га}$. Вихід метану з енергетичних культур спостерігався в межах 170–260 $\text{л} \times \text{кг СОР}$ [237].

На основі дослідів М. Oleszek і М. Matyka [220] встановлено, що на вихід метану впливали види енергетичних культур. Найвищі значення отримано для сорго та кукурудзи, а найнижчі – для тритикале, що зумовлено тривалим загальним часом бродіння та відносно низьким виходом біогазу останньої культури. Істотні відмінності між різними видами спостерігалися за вмістом метану в біогазі. Найбільше метану знаходилося в біогазі, отриманому із силосу кукурудзи, найменше – в біогазі із соняшнику, тритикале та віргінської мальви.

Вихід метану із соняшнику може становити 160 $\text{нм}^3/\text{кг СОР}$ [220], 192 $\text{нм}^3/\text{кг СОР}$ [213], 283 $\text{нм}^3/\text{кг СОР}$ [214] і 300 $\text{нм}^3/\text{кг СОР}$ [216]. А в перерахунку на одиницю площі – 2600–4550 $\text{м}^3/\text{га}$ [151].

У досліджах В. Mursec та ін. [214] найвищий вихід метану отримано із соняшнику – 283 $\text{л}\times\text{кг СОР}$, із сорго він становив 188 $\text{л}\times\text{кг СОР}$, із кукурудзи 187 $\text{л}\times\text{кг СОР}$, з амаранту – 128 $\text{л}\times\text{кг СОР}$, з топінамбуру – 115 $\text{л}\times\text{кг СОР}$ і з цукрових буряків – 95 $\text{л}\times\text{кг СОР}$.

За різними даними вихід метану з тритикале може змінюватися від 212 $\text{нм}^3/\text{кг СОР}$ [151] до 487 $\text{нм}^3/\text{кг СОР}$ [217] залежно від періоду збору врожаю. При цьому спостерігається значне зниження виходу метану при затримці зі збором врожаю цієї культури.

У Правобережному Лісостепу України урожайність зеленої маси сумісних посівів кукурудзи і сорго цукрового була вищою на 8,5–37,8 %, сухої маси – 14,8–32,5 %, а розрахунковий вихід біогазу – на 9,5–28,7 % порівняно з одновидовими посівами цих культур. Максимальний розрахунковий вихід біогазу отримано за вирощування кукурудзи і сорго цукрового в сумісних посівах на фоні внесення мінеральних добрив $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$ – 11,0 тис. $\text{м}^3/\text{га}$ [39].

За даними Р. Е. Lætke та ін. [200] найкращий біогазовий потенціал був у зеленої маси жита – 395 м^3 метану на 1 тону СОР, а найгірший – у стеблах топінамбура – 300 $\text{м}^3/\text{т СОР}$. Інші культури мали біогазовий потенціал близько 350 $\text{м}^3/\text{т}$.

За спостереженнями L. Barbanti та ін. [156] виявлена низька енергетична ефективність виробництва біогазу з кукурудзи, незважаючи на високий вихід біомаси та метану. Це сталося завдяки високим енергетичним витратам на вирощування цієї рослини. Водночас інші культури, альтернативні кукурудзі, такі, як сорго та світчграс, заслуговують на увагу з огляду на їхню низьку потребу в енергії для вирощування. Їхні енергетичні затрати, які були меншими, ніж у кукурудзи, є результатом нижчої здатності до біологічного розкладання в процесі метанової ферментації.

В Україні сировина, що використовується для виробництва біогазу, обмежується такими компонентами: гній свиней, гній ВРХ, послід курячий, жом цукрових буряків та силос кукурудзи. Сумарне споживання даних видів сировини складає близько 97 % за зеленою масою (Рис. 1.1), а сумарна частка виробленого біогазу з них – 92 % (Рис. 1.2) [15].

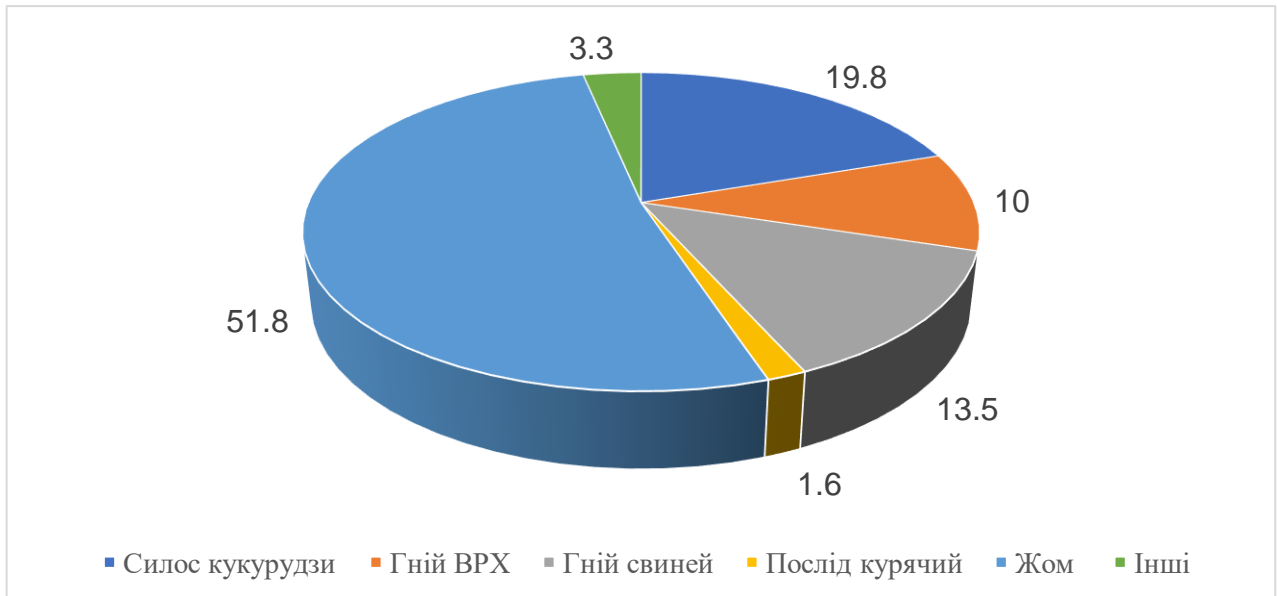


Рис. 1.1. Структура споживання свіжої маси сировини для виробництва біогазу, 2020 р., %

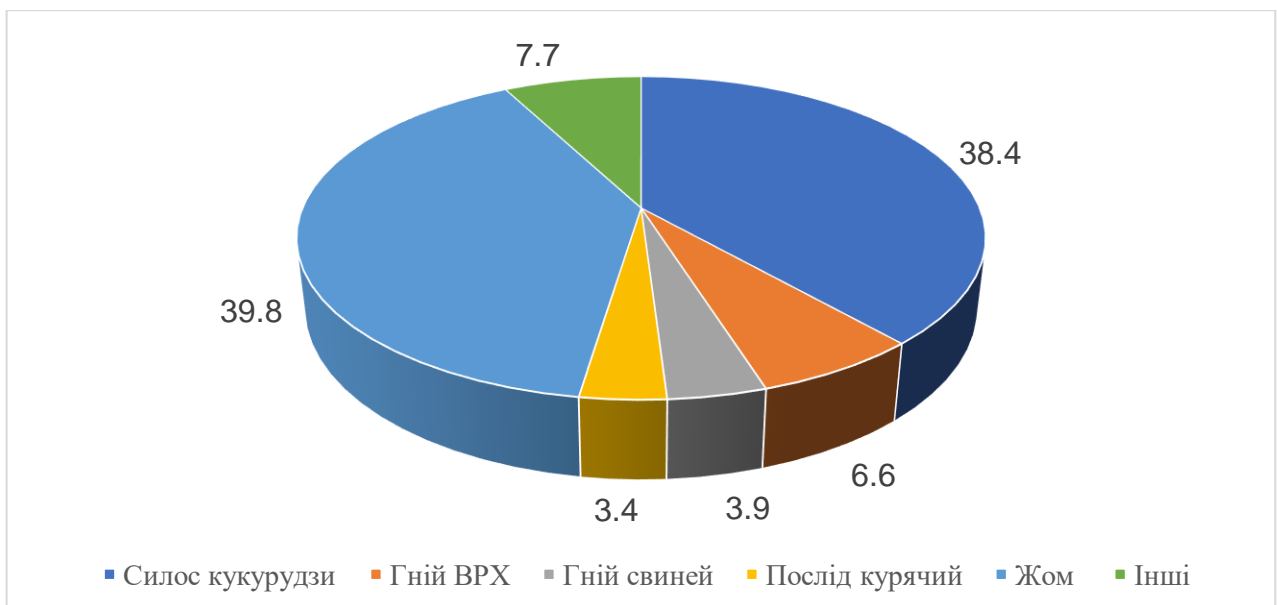


Рис. 1.2. Структура обсягів виробництва біогазу за видами сировини, 2020 р., %

Найбільший обсяг біогазу виробляється із жому цукрових буряків (39,8 %) та силосу кукурудзи (38,4 %). У порівняно незначних кількостях також

використовується полова зернових, меляса, жилові флотошлами та деякі інші види сировини. Останнім часом з'являються приклади використання соломи зернових та стебел кукурудзи, що є досить перспективним напрямком.

Використання інших видів рослинної сировини для виробництва біогазу не перевищує 1–2 % а більшість видів не використовуються взагалі. Тому в Україні існує досить значний потенціал використання практично всіх видів рослинної сировини для виробництва біогазу.

1.2. Використання кукурудзи як біоенергетичної культури

На сучасному етапі перед виробниками сільськогосподарської продукції в Україні стоїть завдання значного підвищення продуктивності кукурудзи на зерно та силос для агропромислового комплексу та відновлювальної енергетики [69, 75].

За своїми господарсько-корисними ознаками, потенційною врожайністю основної й побічної продукції, багатоплановістю використання кукурудза вигідно вирізняється серед інших сільськогосподарських культур біоенергетичного використання. Вона є високоенергетичною конкурентоспроможною сировиною для виробництва різних видів біопалив [73]. Біомаса кукурудзи має хороші енергетичні та екологічні показники порівняно з іншими видами енергоносіїв рослинного походження, що позитивно характеризує цю сировину для використання в якості джерела енергії [128].

Для підвищення рівня реалізації біологічного потенціалу урожайності зеленої маси кукурудзи важливе значення має впровадження у виробництво ефективних технологій вирощування, основними складовими яких є підбір відповідних енергетичних гібридів й оптимізація застосування макро- та мікродобрив [29, 41, 77, 107].

Багато селекційних компаній працюють над створенням високоефективних гібридів кукурудзи силосного напрямку із покращеними якостями сировини. Селекція силосної кукурудзи дозволяє забезпечити

стабільне виробництво кормів і продуктивність сільськогосподарських тварин. Із 2002 р. німецькою компанією «KWS» розпочато реалізацію селекційної програми зі створення гібридів кукурудзи силосного напрямку поряд із уже наявними програмами щодо зернової кукурудзи. З того часу завдяки селекційним досягненням показники врожайності зеленої маси збільшилися в середньому на 20 % на 1 га [23, 31].

Для використання кукурудзи на біоетанол потрібно отримати зерно з якомога вищим вмістом крохмалю. Вміст крохмалю в зерні залежить як від сортових особливостей, так і від технології вирощування кукурудзи на зерно [85]. Вихід етанолу залежить не лише від кількісного вмісту крохмалю в зерні, а й від інших факторів, що формують якісні показники крохмалю:

- хімічний склад крохмалю (співвідношення амілоза/амілопектин);
- гранулометрія крохмалю (лінійний розмір крохмальних гранул і співвідношення гранул за розмірами);
- характер упаковки високополімерних молекул крохмалю в крохмальній гранулі [10, 120].

Сумарна виробнича потужність біоетанолу в Україні може становити близько 200 тис. т у рік (5 % від всього виду палив). Тому великого значення набуває оцінка гібридів кукурудзи за придатністю до їхнього використання для виробництва біоетанолу [70].

Застосування передпосівної обробки насіння кукурудзи препаратом «Поліміксобактерин» та позакореневого підживлення препаратами «Мікро-Мінераліс (кукурудза)» + «Стимпо» дозволило отримати максимальний вихід біоетанолу та енергії з нього – 4,16 т/га та 104,0 ГДж/га відповідно [143]. В умовах Лісостепу України позакореневі підживлення сприяли збільшенню вмісту крохмалю у зерні кукурудзи (на 0,1–0,46 %) та виходу біоетанолу на 0,1–1,04 тис. л/га порівняно з варіантом без позакореневих підживлень [109].

Енергетичний вихід від біоетанолу з кукурудзи залежить від середньої урожайності цієї культури. Якщо етанол виробляти з кукурудзи, то при його спалюванні виділяється на третину більше енергії, ніж було витрачено на

вирощування, збирання та переробку цієї рослини. Енергетичний баланс (енергетичний коефіцієнт) переробки кукурудзи на біоетанол при врахуванні супутніх продуктів становить 1,67 [56].

Стебла кукурудзи як післяжнивну сировину можна використовувати для брикетування або прямого спалювання в якості твердого біопалива. Урожайність побічної продукції кукурудзи (стебла, листки, стрижні та обгортки качана) буде в 1,3–1,5 раза вищою за урожайність зерна. При цьому найбільш важливою паливно-технологічною характеристикою є теплотворна здатність стебел, яка передусім буде залежати від показників вологості. За характеристиками плавкості золи кукурудзяна солома наближається до деревної біомаси (для порівняння: у деревини температура плавлення золи складає близько 12000 °С), що забезпечує кращі умови для спалювання порівняно із соломною зернових колосових культур. Також солома кукурудзи містить менше хлору (0,2 % маси СР) порівняно із свіжою («жовтою») соломною зернових колосових культур [128].

Якщо після збирання вологість стебел кукурудзи знаходиться в межах 45–60 %, то теплота згорання становить лише 5–8 МДж/кг, при вологості 20 % – 12,5 МДж/кг, а при висушуванні стебел на повітрі до вологості 15–18 % їх теплотворна здатність буде вже становити 15–17 МДж/кг [5].

Загальний оцінений потенціал виробництва біометану в Україні складає 9,7 млрд м³ на рік. Половина цього потенціалу пов'язана з рослинними рештками, ще третина – із вирощуванням кукурудзи на силос (Рис. 1.3). Сумарний гною ВРХ складає 9,2 %, побічні продукти та відходи харчової промисловості – 6,7 %. Серед пожнивних решток найбільша частка пов'язана зі стебловою масою кукурудзи на зерно (35,9 %) та соломною пшениці (34,7 %) (Рис. 1.4) [15].

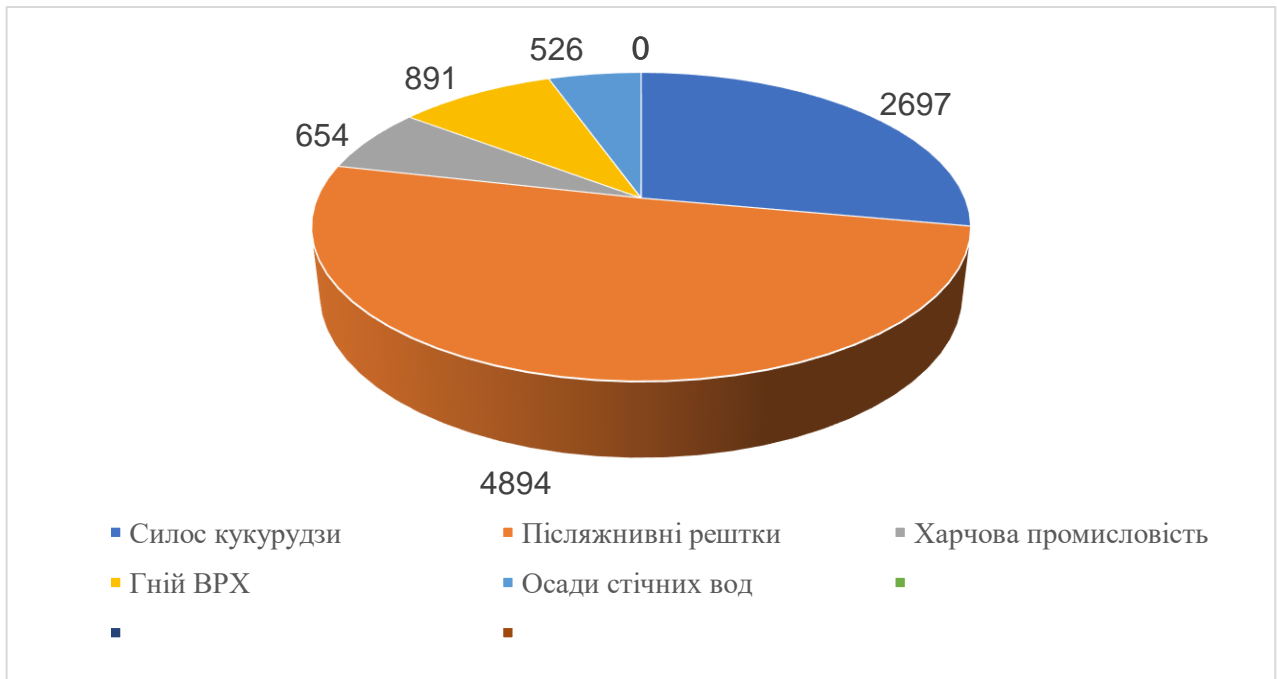


Рис. 1.3. Потенціал виробництва біометану в Україні, млн м³/рік

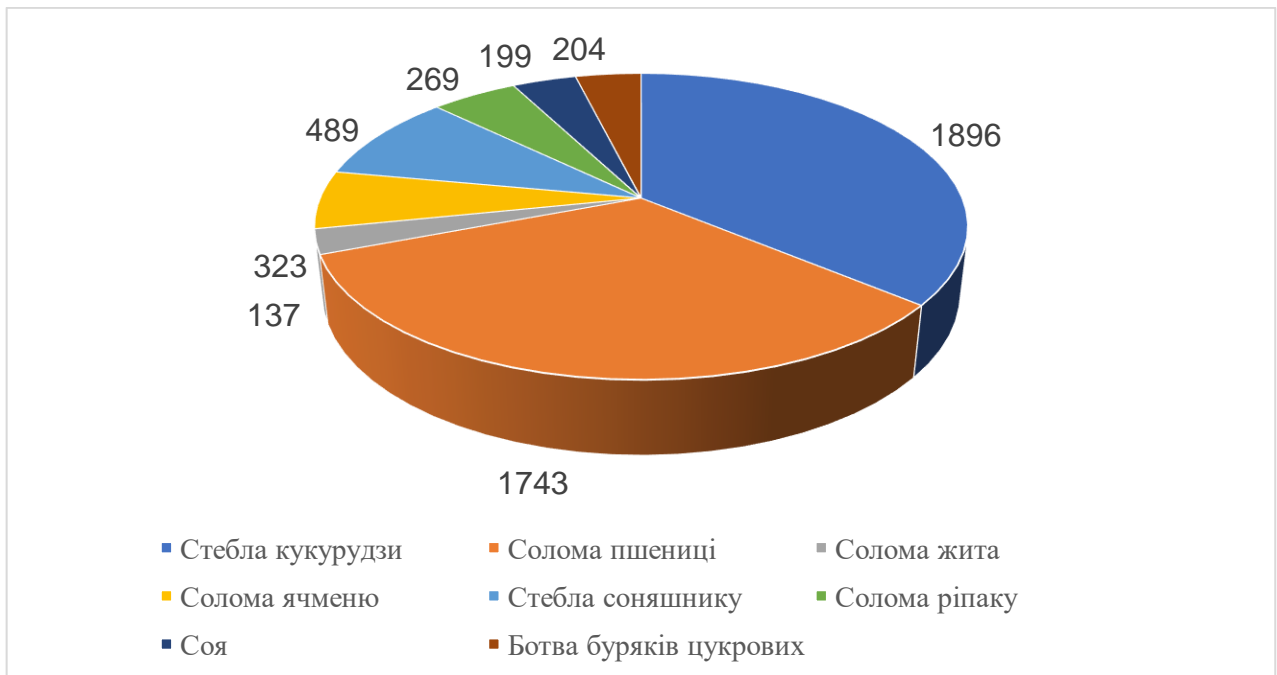


Рис. 1.4. Потенціал виробництва біометану з післяжнивних решток в Україні, млн м³/рік

Теоретичний потенціал побічної продукції кукурудзи на зерно України становить 46,5 млн т або 8,9 млн т н.е. Економічний потенціал (обсяги, доступні для енергетичного використання, що складають 40 % від теоретичного потенціалу) – 18,6 млн т або 3,6 млн т н.е., у тому числі стебла – 9,7 млн т (1,9 млн т н.е.), стрижні – 3,3 млн т (0,6 млн т н.е.) [19].

За розрахунками М. Hutňan та ін. [191] з 9 т зерна кукурудзи можна отримати 5450–5828 м³/га метану, а із 30 т кукурудзяного силосу – 9058 м³/га. Кукурудза є більш однорідним за структурою субстратом, завдяки чому ферментація його у біогазовій установці становить 90 %, а інших рослинних субстратів лише 50 % [251].

За рахунок вищого вмісту сухої речовини питомий вихід біогазу з одиниці внесеної силосної маси кукурудзи був вищим на 33,7–50,6 % порівняно із сорго цукровим та на 9,2–13,0 % із сумішшю цих культур [40].

Згідно з результатами, отриманими В. Mursec та ін. [214] та Luna-del M. Risco та ін. [207], вихід метану у кукурудзи становив 362 і 296 нм³/кг СОР, тоді як М. Oslaj та ін. [222] під час дослідження ефективності метанового бродіння 15 сортів кукурудзи отримали вихід біогазу та метану в діапазоні від 290 до 603 нм³/кг СОР. Подібні значення були визначені М. Negri та ін. [217], які порівняли кілька гібридів кукурудзи, які відрізняються ФАО (від 300 до 700), і заявили, що вихід біогазу збільшується зі збільшенням значення групи стиглості гібридів. Т. Амон та ін. [152] досліджували вплив термінів збирання на вихід метану із силосу кукурудзи, а також відмінності між гібридами. Вихід метану знаходився в діапазоні від 268 до 366 нм³/кг СОР і залежав від ФАО гібридів.

В умовах Польщі вихід біогазу та метану становив 7540–10138 і 4409–5692 м³/га, відповідно, залежно від рівня мінерального живлення кукурудзи [221]. У Словенії він був у межах 11411,0–16447,0 і 6996,0–9441,0 м³/га [222], в Італії вихід біогазу становив 7513,0–14804 м³/га [217].

Частка силосу кукурудзи в суміші з іншими ко-субстратами в біогазових установках може складати 2–90 %. При цьому найбільшого поширення (25 %) мають біогазові установки, де частка силосу кукурудзи в суміші складає 40–60% [212].

В Україні найвищі показники виходу метану отримані в гібридів кукурудзи Любава (279 МВ) та Моніка (350 МВ) на фоні застосування добрив N₁₀₀P₈₀K₈₀ – 291,9 і 284,5 л×кг СОР. На варіантах із внесенням N₁₀₀P₈₀K₈₀

відмічено підвищення виходу метану на 5,4 і 25,4 % з одиниці, внесеної СОР, відповідно у гібридів Моніка (350 МВ) та Любава (279 МВ) [77].

Залежно від типу ґрунту найвищий вихід біогазу отримано з кукурудзяного силосу за рівня азотного живлення 80 кг/га – 194,5–315,3 м³/т зеленої маси. Технології вирощування сільськогосподарських культур із високим рівнем внесення азотних добрив виявилися найбільш ефективними [199].

У країнах Європейського Союзу ухвалено Закон «Про поновлювальні джерела енергії (EEG 2012)», відповідно до якого масова частка кукурудзи в субстраті для біогазових установок не повинна перевищувати 60 %. Використанню спеціально вирощених енергетичних культур при виробництві біометану в країнах ЄС віддається все менший пріоритет. Починаючи з 2018 року, в Європі не будуються нові біогазові виробництва, основною сировиною для яких був би силос кукурудзи [15].

Використання силосу кукурудзи для виробництва біогазу в умовах України все ж можна розглядати як технологічно та економічно доцільну опцію, принаймні для внутрішнього споживання. Подальше збільшення обсягів використання силосу кукурудзи на біогаз в Україні ще досить тривалий час не буде призводити до суттєвої конкуренції з продуктами харчування та кормами для тварин у межах країни. Відтак більш жорсткі кліматичні вимоги та питання забезпечення сталості харчових ланцюгів, які останнім часом вводяться в країнах ЄС, для України могли бути відтерміновані або пом'якшені. Це особливо набуває актуальності у світлі критичної необхідності диверсифікації постачання енергоресурсів як у ЄС, так і в Україні. Але при цьому необхідно враховувати важливу роль України як експортера зернових для гарантування продовольчої безпеки деяких країн Азії та Африки [13, 15].

Серед аргументів щодо доцільності подальшого використання силосу кукурудзи на біогаз в Україні можна навести такі:

1. Україна має одну з найбільших площ орних земель у світі. За цим показником Україна посідає перше місце серед країн Європи та 8 місце серед країн світу.

2. В Україні одна з найбільших у світі питома площа ріллі, що припадає на 1 жителя – 0,74 га/особу [190]. Відповідно до зазначеного показника Україна посідає 3 місце серед країн Європи (після Литви та Латвії) та 7 місце серед країн світу.

3. В Україні, порівняно з окремими країнами ЄС, використання силосу кукурудзи на біогаз є неспівставно меншим. Так, наприклад, у Німеччині ще у 2012 р. для вирощування кукурудзи на силос для біогазу використовувалося близько 1 млн га, що складало 8,3 % з 11,57 млн га загальної площі ріллі [22]. У 2021 р. загальне використання земельних ресурсів для вирощування сировини на біогаз у Німеччині складало вже 1,55 млн га, а сумарно для всіх видів енергетичних культур – взагалі 2,67 млн га [157]. В Україні у 2020 р. силос кукурудзи на біогаз вирощувався на площі 14–20 тис. га, що складає лише 0,4–0,6 % загальної площі ріллі [20] .

4. Існує значний потенціал збільшення урожайності основних харчових і кормових культур у нашій країні, а відтак і можливість збільшення частки земель для енергетичного використання при збереженні поточного рівня валового виробництва основних харчових та кормових культур. Тому основна і побічна продукція кукурудзи може бути використана як сировина для виробництва твердого біопалива, біоетанолу другого покоління та біогазу [18].

1.3. Застосування макро- та мікродобрив при вирощуванні кукурудзи

Одним із пріоритетних напрямків заощадження виробничих та енергетичних витрат є обґрунтований підхід щодо вирощування сільськогосподарських культур і забезпечення мінеральним живленням впродовж всього періоду вегетації. В умовах глобальної зміни клімату, високої вартості мінеральних добрив важливе значення має оптимізація системи

удобрення кукурудзи та забезпечення максимальної окупності витрат при її вирощуванні, зокрема при вирощуванні на силос [86, 123].

Кукурудза на силос вимагає особливих елементів технології вирощування порівняно з вирощеною на зерно. Так, кукурудза на силос зазвичай збирається до фізіологічної зрілості, і тому вимагає меншої кількості води порівняно із зерною кукурудзою. Управління мінеральним живленням на ранніх стадіях також має вирішальне значення для підвищення врожайності та якісних показників силосної кукурудзи [178].

Урожайність кукурудзи значною мірою залежить від забезпечення макроелементами під час росту й розвитку рослин, зокрема азотом, фосфором та калієм [155].

Кукурудза, порівняно з іншими зерновими культурами, має високий винос та коефіцієнт засвоєння елементів із ґрунту. Кукурудза чутлива до застосування як макро-, так і мікроелементів, особливо цинку (Zn), марганцю (Mn), міді (Cu) та бору (B) [122].

Азот є життєво важливим елементом для рослин й основним, що визначає врожайність кукурудзи [238]. Його наявність у достатній кількості протягом вегетаційного періоду має важливе значення для оптимального росту рослин. Він є складовим елементом білків а також невід'ємним компонентом багатьох інших сполук, необхідних для процесів росту кукурудзи, включаючи хлорофіл і різні ферменти [228].

При застосуванні азотних добрив слід пам'ятати про те, що з ґрунту засвоюється тільки 40–60 % цього елемента, а решта втрачається (на денітрифікацію припадає 15–30 % від внесених добрив). Причому зі збільшенням доз азотних добрив ці втрати зростають [134].

Фосфор входить до складу нуклеїнових кислот, АДФ і АТФ, нуклеопротейдів, цукрофосфатів, фітину, лецитину, вітамінів, фосфатидів і багатьох ферментів [148]. Фосфор сприяє розвитку кореневої системи рослин, підвищує їхню стійкість до деяких грибкових захворювань. Також він забезпечує краще використання інших елементів живлення з ґрунту, особливо

азоту, калію, магнію, поліпшує харчові й технологічні якості овочевої продукції [25]. Достатнє забезпечення цим елементом сприяє зростанню частки генеративних органів у загальній масі рослини [224]. Фосфор часто є причиною обмежень азотфіксації фітобактеріальної системи рослин [144].

Встановлено, що застосування фосфору для позакореневого підживлення рослин, його асиміляція проходить досить повільно і в незначній кількості. Тому основне фосфорне живлення рослин повинно проходити через кореневу систему, за рахунок внесення цього елемента в ґрунт [116].

Подібно до азоту та фосфору, калій є основним елементом живлення, що сприяє одержанню стабільних і високих врожаїв. Калій є багатофункціональним і високомобільним елементом, що безпосередньо й опосередковано впливає майже на всі біохімічні та біофізіологічні процеси. Калій забезпечує водоспоживання рослин, підсилює утворення цукрів та їх переміщення, підвищує стійкість до хвороб, посухи та весняних заморозків [2, 223].

Високий рівень доступного калію покращує якість продукції, стійкість до хвороб і термін зберігання, а також кормову цінність зернових і кормових культур. Калій посилює ріст коренів і покращує посухостійкість, підтримує тургор, зменшує втрату води і в'янення, зменшує дихання, запобігаючи втратам енергії, посилює деформацію розташування цукрів і крохмалю, підвищує вміст білка в рослинах; бере участь в утворенні целюлози та зменшує вилягання, допомагає запобігти хворобам культур, підвищує зимостійкість [113, 210].

Внесення мінеральних добрив дає можливість скоротити на 20–36 % витрати води на утворення сухої речовини рослин, адже на побудову органічних речовин рослини використовують близько 0,2 % поглинутої води, а 99 % вологи випаровується [26].

У зоні нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу України використання азотних добрив в нормі 150 д.р. кг/га виявилось найефективнішим незалежно від умов року. Оптимальним прийомом управління врожайністю кукурудзи є передпосівна обробка насіння сумішшю

протруйників і гумінових стимуляторів, що сприяє кращому формуванню кореневої та надземної частини й дає змогу більшою мірою контролювати ураження проростків хворобами [88].

У Південному Степу України максимальну врожайність зерна кукурудзи отримали за внесення добрив у дозі $N_{120}P_{120}$ – 16,0 т/га. Внесення мінеральних добрив забезпечило приріст урожайності зерна на 1,8–4,7 т/га, порівняно з контролем [9]. В умовах зрошення найвища продуктивність кукурудзи була отримана при застосуванні підвищених доз мінеральних добрив [210].

Із зростанням норм добрив від $N_{150}P_{150}K_{150}$ до $N_{300}P_{300}K_{300}$ спостерігалось достовірне підвищення урожайності у всіх досліджуваних гібридів кукурудзи в умовах Західного Лісостепу України [68]. У цих же умовах найвищу врожайність зерна кукурудзи забезпечила норма внесення мінеральних добрив $N_{160}P_{80}K_{140}$ та позакореневі підживлення мікродобривами: карбамідом і сульфатом магнію у фазі 10 листків, що більше на 3,24 т/га або 32,7 % порівняно з контролем на фоні $N_{80}P_{40}K_{60}$ [145].

Внесення основних елементів живлення, наприклад, азоту, підвищує врожайність кукурудзи на силос і забезпечує високу якість продукції [225]. У сучасних системах землеробства стійка інтенсифікація вимагає підвищення ефективності використання ресурсів при збереженні або підвищенні продуктивності та покращенні якості навколишнього середовища, головним чином через проблеми, пов'язані із застосуванням азотних добрив [189].

В умовах Туреччини проведено дослідження з вивчення впливу виду та норм внесення азотних добрив на продуктивність силосної кукурудзи. Досліджували сечовину, аміачну селітру та сульфат амонію при нормах внесення 50, 100, 150 та 200 кг/га. Сульфат амонію (200 кг/га) виявився найефективнішим добривом для підвищення врожайності та якості кукурудзи на силос [231].

У Правобережному Лісостепу найбільшу врожайність зеленої маси гібридів кукурудзи (83,6 та 80,8 т/га) отримали у фазу молочно-воскової

стиглості зерна при внесенні азотних добрив N_{135} , що більше на 20,8 і 23,1 % порівняно з контролем [124].

У дослідницькому центрі Університету Вайомінгу було встановлено, що зрошувальна норма, норма азотних добрив і терміни їхнього внесення значно впливають на ріст і врожайність зеленої і сухої маси кукурудзи. Норма внесення азоту 180 кг/га виявилась найбільш оптимальною в цих умовах [218]. За іншими даними американських дослідників, максимальний врожай кукурудзи формується при застосуванні $N_{100-140}$ [186].

В умовах Ірану на урожайність зеленої маси кукурудзи, маси волоті і листків, суху масу рослин впливали азотні добрива. Маса сухої речовини в рослинах залежала від калійних добрив. Норма внесення азотних добрив 450 кг/га (у фізичній масі) забезпечила найбільшу врожайність зеленої (41,6 т/га) та сухої маси (13,3 т/га). На варіантах із внесенням калійних добрив 200 кг/га врожайність зеленої маси становила 40,5 т/га, при цьому вища врожайність сухої маси (13,6 т/га) була отримана при застосуванні 150 кг/га калійних добрив [230].

Кукурудза позитивно реагує на позакореневе підживлення азотними та азотно-фосфорними добривами в ранні фази росту та розвитку. Так, під впливом позакореневого підживлення рослин кукурудзи сечовиною у фазу молочної стиглості зерна вміст білка порівняно з контролем зріс на 25 %, а у вегетативних органах – на 33–48 % [99]. У той же час, за даними Liimatainen A. та ін. [206], внесення азотних добрив 100–200 д.р. кг/га не впливало на врожайність та якість кукурудзи на силос.

Листкове підживлення рослин впливало на врожайність кукурудзи залежно від складу та фази застосування. На фоні удобрення $N_{80}P_{40}K_{60}$ підживлення мікродобривами було найефективнішим у фазі 10 листків і забезпечило збільшення урожаю в середньому на 0,93 т/га до контролю, при удобренні $N_{120}P_{60}K_{100}$ приріст становив 0,97 т/га в середньому до контролю [145].

У Туреччині використання органічних добрив у поєднанні з мінеральними призвело до збільшення врожайності сухої речовини та якості силосної маси кукурудзи, порівняно із внесенням лише мінеральних добрив. Застосування тільки органічних добрив значно знизило врожайність сухої речовини та якість кукурудзи на силос [229].

Внесення біоорганічних добрив «Ефлюент» та мінеральних добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$ сприяло збільшенню урожайності зерна кукурудзи на 2,87–6,08 т/га, або 142,3–189,6 т/га порівняно із контролем [112].

Використання макродобрив на кукурудзі достатньо вивчене [24–26, 42, 58, 83, 98, 131], але потребує подальшого наукового вивчення питання формування продуктивності та ефективності вирощування кукурудзи як біоенергетичної культури для виробництва біогазу із застосуванням макро- та мікродобрив. Останнім часом все більшого значення набуває використання в посівах сільськогосподарських культур мікроелементних препаратів для регулювання ростових процесів і посилення стійкості рослин до несприятливих гідротермічних умов, підвищення рівня врожайності та якості продукції [100].

На фоні високих доз мінеральних добрив при їхньому тривалому застосуванні на різних ґрунтах значно відчувається дефіцит мікроелементів. Особливо часто така ситуація складається на бідних елементами живлення піщаних і супіщаних ґрунтах, на зрошуваних землях, на осушених торфовищах. За таких умов рослини позитивно реагують на мікродобрива [126].

Мікродобрива є важливим резервом підвищення урожайності зернових культур та якості врожаю. Дефіцит їх часто стримує ріст і розвиток рослин та врожайність, призводить до зниження якості сільськогосподарської продукції. Основним джерелом мікроелементів для рослин є ґрунт. Проте не всі ґрунти можуть повністю задовольнити потребу рослин у них. Доведено, що кислі ґрунти сприяють підвищенню доступності для рослин усіх мікроелементів, за винятком молібдену, і навпаки – з нейтральних і слабо лужних ґрунтів засвоюваність молібдену зростає, а всіх інших мікроелементів зменшується [93].

Оптимізація живлення рослин, підвищення ефективності внесення добрив великою мірою пов'язані із забезпеченням оптимального співвідношення макро- і мікроелементів. При вирощуванні рослин за інтенсивною технологією потреба в мікроелементах підвищується [65]. Особливе значення має позакореневе підживлення макро- та мікродобривами в посушливих умовах, коли при нестачі ґрунтової вологи порушується надходження елементів живлення через коріння в надземні частини рослин [195].

Застосування мікроелементів є важливим при вирощуванні кукурудзи. Вони забезпечують захист сходів до і після їхньої появи від несприятливих кліматичних факторів, активізують і підтримують фотосинтез, підвищують ефективність макродобрив, створюють антистресовий ефект від застосування засобів захисту рослин, збільшують кількісні і якісні показники врожаю [6]. Найбільш економними серед способів застосування мікродобрив є передпосівна обробка насіння та позакореневе підживлення вегетуючих рослин [1].

Використання мікроелементів у практиці сільського господарства повинно проводитися із врахуванням наявності в ґрунті доступних форм мікроелементів, фізіологічних особливостей рослин з розрахунку на запланований урожай. У деяких випадках при незначних середніх урожаях культур мікроелементи дають невеликий приріст, проте для одержання високих врожаїв, особливо в умовах зрошення, потрібно повністю покривати потребу рослин в мікроелементах [14].

Для рослин кукурудзи важливим мікроелементом є цинк, який суттєво впливає на окислювально-відновні процеси, сприяє утворенню хлорофілу, відіграє позитивну роль у синтезі ауксинів, є компонентом ферментних систем, пов'язаних із вуглеводним обміном, підвищує здатність утримувати воду в тканинах, впливає на обмін фосфору [110].

Цинк здійснює вплив на в'язкість плазми клітини а також є каталізатором реакцій, пов'язаних з окисними процесами в рослинах. Він є компонентом ферментативних систем, що впливають на вуглеводний обмін рослин, бере

безпосередню участь у синтезі хлорофілу процесах фотосинтезу [26]. При застосуванні фосфорних добрив підвищується потреба в цинку, який активізує процес засвоєння фосфору [208]. За рахунок цинку збільшується стійкість рослин до бактеріальних захворювань, а також їх засухо – і холодостійкість [138]. Прояв дефіциту цинку на рослини проявляється за низьких температур ґрунту, тому в початковий період вегетації варто внести достатню кількість цинку [7].

Дослідженнями встановлено, що бор сприяє переміщенню цукрів до коріння й органів плодоношення. Зважаючи на це, внесення бору сприяє підвищенню врожайності та якості продукції [138]. Бор регулює синтез азотистих речовин в клітинах, позитивно впливає на активність ферментів, підвищує синтез аскорбінової кислоти й каротиноїдів, сприяє збільшенню вмісту хлорофілу в листках. Навіть за оптимального забезпечення NPK дефіцит бору суттєво лімітує врожайність сільськогосподарських культур [249]. Всі спроби замінити бор будь-яким іншим елементом виявилися безрезультатними [208].

Марганець бере участь у біосинтезі РНК і ДНК та у процесах засвоєння рослинами нітратного й аміачного азоту, входить до складу ферментів, що є каталізаторами як аеробного, так й анаеробного дихання. За дефіциту марганцю вміст хлорофілу суттєво знижується [179]. Виявлено залежність між вмістом марганцю в рослинах і кількістю аскорбінової кислоти, у біосинтезі якої марганець відіграє особливу роль [26]. За нестачі марганцю знижується синтез органічних речовин, а також вміст хлорофілу в рослинах (хлороз) [83, 114].

Під впливом міді в рослинах посилюються процеси дихання, синтезу фосфоровмісних органічних сполук, окислювально-відновні реакції [138]. Вона відіграє роль активатора ферментів й утворює з білками біологічно активні комплекси та впливає на подовження фотосинтетичної діяльності листків [91]. За нестачі міді рослини менш інтенсивно засвоюють азот із ґрунту та сповільнюють синтез білків. Підвищені дози азотних добрив можуть сприяти дефіциту міді в рослинах [208].

Магній підвищує інтенсивність фотосинтезу й утворення хлорофілу, впливає на окислювально-відновлювальні та ферментативні процеси, є

складовою фітину та інших органічних речовин. У вигляді іонів у клітинному соку він підтримує осмотичний потенціал клітин [26, 84]. За дефіциту магнію в рослинах погіршується ріст і продукційний процес, знижується якість продукції, вміст хлорофілу та стійкість до хвороб [24]. Особливе значення відіграє магній у поглинанні NPK при використанні інтенсивних технологій вирощування. Його варто вносити не лише в листкове підживлення, але і в основне удобрення [136].

Кальцій у рослинах впливає на обмін речовин, активізує ферменти та стимулює ріст рослин і розвиток кореневої системи. Також бере участь в обміні вуглеводів, білків, покращує синтез хлорофілу. Важлива роль кальцію у формуванні клітинних оболонок та підтриманні кислотно-лужної рівноваги в рослинах [24, 136]. За суттєвого дефіциту кальцію ріст рослин призупиняється, коренева система погіршує функціонування [138].

Найкращим терміном проведення позакореневого підживлення макро- та мікроелементами є міжфазний період від закладання 4–7 листків до початку формування стебла кукурудзи. Невелика кількість добрив, що використовуються для позакореневого підживлення, збільшує урожайність на 8–10 % і суттєво підвищує окупність мінеральних добрив [147].

Позакореневе підживлення макроелементами як окремо, так і в комбінації покращує ріст, підвищує структуру врожаю та врожайність кукурудзи в умовах дефіциту вологи, тому що позакореневе підживлення не тільки забезпечує поживними речовинами рослини в умовах посухи, але також може сприяти кращому вологоспоживанню [150, 168].

Позакореневе внесення азоту може бути ефективнішим, ніж внесення азоту у ґрунт [173]. Комбінація ґрунтового та позакореневого внесення азотних добрив є найкращим способом забезпечення рослин азотом. Застосування 50 % азотних добрив перед сівбою та 50 % у позакореневе підживлення підвищувало врожай кукурудзи на 43 % порівняно з варіантом з азотними добривами (100 кг/га) лише перед сівбою [192].

В умовах ДГ «Дніпро» ДУ Інститут зернових культур НААН урожайність зерна кукурудзи на варіантах із підживленням рослин сумішшю карбамід + мікроелементи досягала 8,30–8,78 т/га [58].

У північно-західній частині Чернігівської області максимальну урожайність зерна кукурудзи (11,23 т/га) сформовано під час застосування «Гулівер Стимул» за обробки у фазі 3 листків й обробки насіння кукурудзи «Росток кукурудза» з прибавкою 0,95 т/га до контролю [142].

Застосування комплексу препаратів на фоні передпосівної обробки насіння «Емістимом С» при сівбі кукурудзи після люцерни посівної забезпечили урожайність зеленої маси у середньораннього гібрида на рівні 82,4 т/га та 80,0 т/га у середньостиглого у фазу молочно-воскової стиглості зерна із зменшенням у фазу воскової стиглості зерна до 82,1 та 78,1 т/га, відповідно [124].

Обробка рослин кукурудзи мікродобривами позитивно впливала на накопичення надземної сирової маси гібридів за окремими фазами розвитку. Найбільший вплив на формування сирової маси мав препарат «Аватар-1», максимального значення показник набув у фазу молочної стиглості (54,71 т/га) у гібрида «Чонгар», що перевищило контроль на 2,4 %. Мікродобриво «Нутрімекс», у середньому за дослідом, мінімально впливало на ростові процеси (приріст 0,50–0,83 т/га за фазами розвитку) [92].

У Північному Степу України використання комплексу регуляторів росту рослин та мікродобрив («Вимпел» + «Оракул мультикомплекс», «Оракул біоцинк») у фазі кукурудзи 7–8 листків, забезпечує стійку тенденцію до зростання польової схожості насіння, підвищення посухостійкості й жаростійкості рослин в 1,5 рази та зростання врожайності зерна на 12,1–14,5 %, порівняно з контролем [133].

Незалежно від групи стиглості гібридів, мікродобрива та регулятори росту збільшують урожайність зерна гібридів кукурудзи на 0,38–1,26 т/га із приростом урожайності 3,8–10,0 % [89].

Використання концентрованого (650 г стильбіту) або природного (470 г цеоліту) із сечовиною підвищує урожайність сухої речовини кукурудзи на силос та концентрацію азоту в листках [159].

У Південному Степу України отримано найбільший приріст сирової надземної маси за обробки посівів кукурудзи регуляторами росту «Сизам-Нано» і «Грейнактив-С». При цьому накопичення зеленої маси у гібридів ранньостиглої групи коливались у середньому 33,28–49,79 т/га, середньоранньої групи – 35,4–50,73, середньостиглої 38,65–53,04 і середньопізньої групи – 39,85–54,54 т/га залежно від фази розвитку [211].

За обробки насіння «Поліміксобактерином» у комплексі з позакореневим підживленням «Мікро-Мінераліс (кукурудза)» + «Стимпо» отримано найбільший приріст зеленої маси у всіх досліджуваних гібридах. Також на цьому варіанті у фазу воскової стиглості зерна накопичення сухої маси у гібридів середньоранньої групи стиглості коливалася в середньому 23,95–25,31 т/га, середньостиглої групи – 23,18–23,69 т/га [143].

Отже, за даними багатьох досліджень встановлено, що застосування макро- та мікродобрів безпосередньо впливає на якісний склад зерна та зеленої маси та продуктивність кукурудзи [24, 26, 83, 136, 138].

Висновки до розділу 1

На основі аналізу літературних джерел встановлено, що досить широко висвітлено питання застосування макро- та мікродобрів при вирощуванні кукурудзи як зернової та кормової культури. У той же час у наукових дослідженнях недостатньо представлено інформації щодо впливу удобрення на продуктивність кукурудзи, якісні показники сировини та вихід біогазу і метану. Зважаючи на це, вивчення застосування макро- та мікродобрів при вирощуванні кукурудзи на силос як біоенергетичної культури для отримання біогазу потребує теоретичного та наукового обґрунтування.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Ґрунтово-кліматичні умови зони проведення досліджень

Досліди проводилися в умовах СТОВ «Птахоплемзавод Коробівський» Житомирської області Андрушівського району, яке розташоване у Правобережному Лісостепу. Територія Житомирської області в геоструктурному відношенні знаходиться майже повністю в межах північно-західної частини Українського кристалічного щита. Має вигляд хвилястої рівнини із загальним зниженням на північ і північний схід (від 280–220 м до 150 м і менше). Більша частина регіону лежить у межах Придніпровської та Волино-Подільської височин. Північну і північно-східну частину займає Поліська низовина [63].

Клімат Житомирської області помірно-континентальний, з теплим вологим літом і м'якою хмарною зимою. Територія Андрушівського району знаходиться в зоні переважного атлантичного повітряного впливу. Влітку відбувається процес трансформації атлантичного повітря в континентальне, а взимку – перенесення атлантичного повітря. Середня багаторічна температура найхолоднішого місяця (січня) становить $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, найтеплішого (липня) $+17\text{--}19\text{ }^{\circ}\text{C}$. Середня річна температура в області становить $+6\text{--}7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найбільші морози бувають у січні та лютому і досягають $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сума активних температур становить $2230\text{--}2570\text{ }^{\circ}\text{C}$. Середня висота снігового покриву змінюється від 12 до 15 см і формуючи запаси води в снігу 37–45 мм. Середньомісячна відносна вологість повітря 76–78 %. Тривалість безморозного періоду становить 150–170 діб. Тривалість періоду із середньодобовими температурами вище $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ становить 240–260 діб. Вегетаційний період (дні з середньою температурою повітря вище від $5\text{ }^{\circ}\text{C}$) триває від другої декади квітня до третьої декади жовтня (185–190 діб). Нічні заморозки (до $-2\text{--}3\text{ }^{\circ}\text{C}$) спостерігаються в першій-другій декаді травня. Осінні заморозки розпочинаються у першій-другій декаді жовтня. Річна кількість опадів

становить 520–560 мм. Варто зауважити про нерівномірність випадання опадів протягом року: основна їхня кількість припадає на осінь й зиму. Також влітку досить часто опади випадають у вигляді злив. Але погодні умови як Житомирської області загалом, так і регіону досліджень зокрема останніми роками відзначаються нестабільністю, постійно коливаються і в окремі місяці негативно впливають на формування врожаю кукурудзи [63].

Ґрунти східної частини Житомирської області сформовані еолово-делювіальними нанесеннями дніпровського періоду зледеніння, а західної частини – алювіальними воднольодовиковими відкладеннями вздовж річкових долин та еоловоделювіальними процесами післяльодовикового періоду. Серед усього різноманіття ґрунтового покриву області найбільш родючі ґрунти зосереджені у південній частині: чорноземи типові – 205,6 тис. га, сірі лісові, темно сірі опідзолені ґрунти та чорноземи опідзолені – 119,3 тис. га, лучні та чорноземно лучні – 35,8 тис. га, дерново глейові – 21,5 тис. га [129].

Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем опідзолений середньосуглинистий, малогумусний на карбонатному лесі. Профіль опідзолених чорноземів слабо диференційований. Виділяється неглибокий (28–30 см) гумусовий горизонт з досить міцною грудкувато-зернистою структурою. За ним до глибини 60–80 см йде перехідний горизонт із проявами ілювіюваності – ущільненням, горіхувато-призматичною структурою, напливами колоїдів по гранях структурних агрегатів у нижній частині горизонту. Карбонати вимиті до глибини 100–120 см. Орний шар ґрунту має вміст крупного пилу 50,3–57,2 %, фізичної глини – 32,3–35,7 %, мулу – 19,1–25,1 % і піску – 9,5–18,3 %.

За агрохімічною характеристикою, ґрунт містить 2,54% гумусу (за методом Тюріна і Конової), азоту, що легко гідролізується 78–95 мг/кг ґрунту (за методом Корнфільда), рухомих сполук фосфору і калію відповідно 105–130 і 110–140 мг/кг ґрунту (за методом Чирикова). Гідролітична кислотність становить 1,3–1,6 мг-екв./100г ґрунту (за методом Капена). Реакція ґрунтового розчину є близькою до нейтральної – 6,7. Ємність поглинання ґрунту – 25–28 мг-екв./100 г.

За своїми водно-фізичними, хімічними властивостями й агрохімічною характеристикою ґрунт дослідної ділянки є придатним для вирощування високих і стабільних урожаїв кукурудзи на силос.

2.2. Погодні умови в роки досліджень

Під час проведення польових досліджень у середньому за 2019–2021 рр. метеорологічні умови були типовими для зазначеного регіону, але за роками значно відрізнялися за кількістю атмосферних опадів і температурним режимом та їхнім розподілом у період вегетації кукурудзи.

Для характеристики погодних умов використовували дані Житомирської метеостанції, розташованої за 42 км від господарства. На рисунках 2.1 та 2.2 наведено графіки середньодобової температури повітря та кількості опадів за середнє за 2019–2021 рр.

Погодні умови в квітні 2019 р. були досить мінливими. Особливістю стало те, що перша і третя декади були відносно теплими, а друга декада – прохолоднішою. Але в цілому за квітень середньодобова температура повітря перевищувала середні багаторічні показники на 3,7 °С, а кількість опадів була на 9,3 мм меншою.

Сівбу гібридів кукурудзи проводили у 3-й декаді квітня, і на період появи сходів у травні ситуація покращилася. Сума опадів за місяць становила у середньому за місяць – 67,5 мм, а середня температура повітря – 15,6 °С. При цьому середньодобова температура повітря перевищила середні багаторічні показники на 2 °С.

Червень був сонячним та спекотним. Високі середні температури повітря зафіксовані в другій декаді червня а середньомісячна температура повітря (22,4°С) перевищила багаторічні показники на 5,9 °С.

Літо 2019 р. було жарке та посушливе, тому середньомісячна температура в червні становила 22,4, у липні – 18,8 та у серпні – 20,9 °С, тоді як середньобагаторічні показники були 16,3, 18,4 та 17,3 °С відповідно. Сума опадів за місяцями становила 42,6, 38,7 і 12,3 мм, що на 57,6, 45,5 і 23,7 %

менше від норми. Такі несприятливі погодні умови призводили до пригнічення ростових процесів рослин кукурудзи, стерилізацію пилку та відповідно виповненості качанів. Збирання в серпні проходило в посушливих та спекотних умовах.

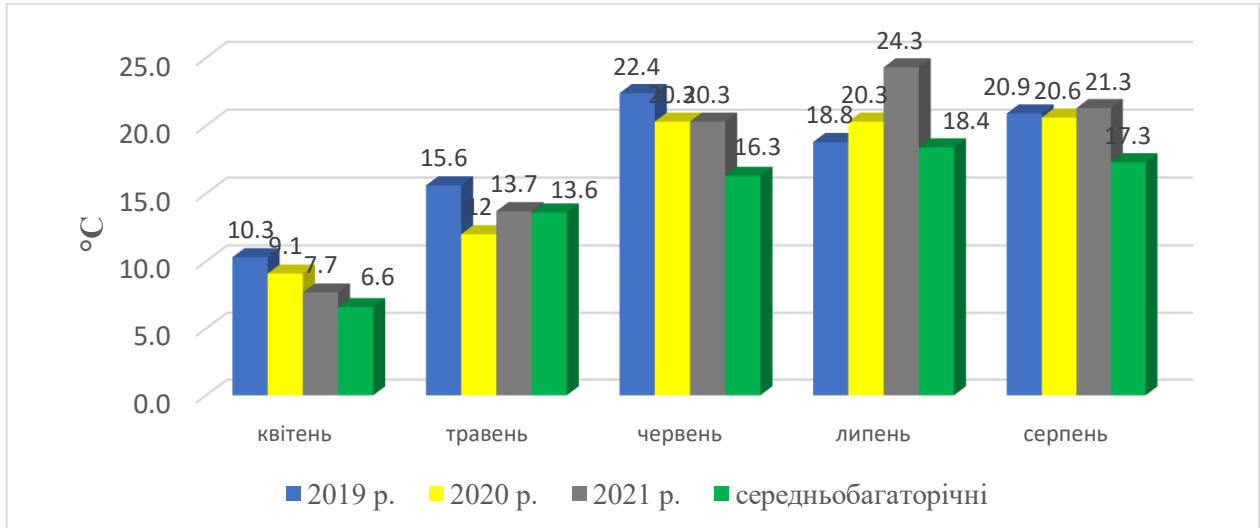


Рис. 2.1. Середньомісячна температура повітря за період вегетації рослин кукурудзи, °С (за даними Житомирської метеостанції)

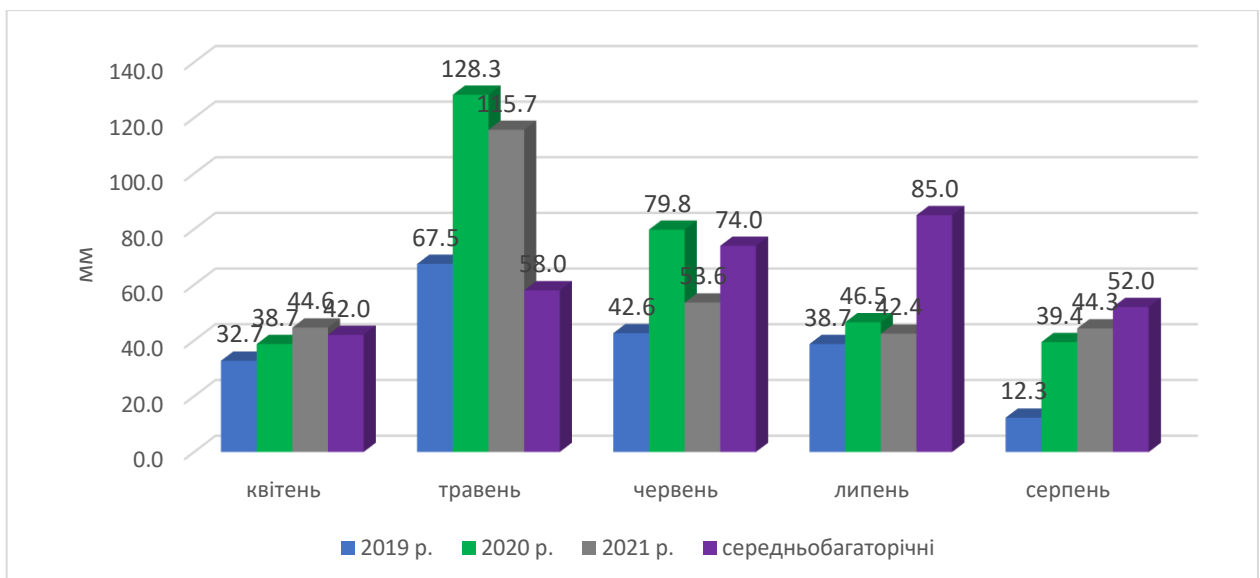


Рис. 2.2. Кількість опадів в період вегетації рослин кукурудзи, мм (за даними Житомирської метеостанції)

Квітень 2020 р. в I і II декадах за температурними показниками майже відповідав багаторічним нормам, але середньомісячна температура перевищила на 2,5 °С багаторічні показники. У третій декаді квітня, хоча і відбулося швидке наростання температури до 12–14 °С, але різких коливань не

спостерігали. У цілому склалися сприятливі умови для сівби, росту й розвитку культури. Квітень 2020 року виявився дещо прохолоднішим від квітня 2019 року.

Найбільша кількість опадів випала протягом третьої декади з 21 по 30 квітня. Сумарна кількість опадів (38,7 мм), яка випала за квітень не досягла рівня багаторічної норми (42 мм).

У травні температура повітря була нижчою за багаторічні значення на 1,2°C. Мінімальні температури припали на другу декаду травня. За температурним режимом травень 2020 р. виявився прохолоднішим за аналогічний період 2019 року. Але не тільки занадто низькими температурами відзначився травень, та значною кількістю опадів, сумарна кількість яких становила 128,3 мм (221% від норми). Найбільша кількість опадів випала в третій декаді травня. Травень перевищив майже вдвічі за кількістю опадів аналогічний місяць 2019 року.

У літній період температура повітря рівномірно розподілилася за місяцями, без різких коливань, із червня по серпень вона була в межах 20,3–20,6°C, тоді як середньобагаторічна становила 16,3–18,4°C, тобто стала на 3–4°C вищою.

Літом 2020 р. зафіксовано багато локальних злив, які супроводжувалися поривчастим шквальним вітром, градом. Опадів за літній період випало 165,7 мм, більша частина яких припала на червень (79,8 мм), липень (46,5 мм) і серпень (39,4 мм). При цьому, незважаючи на зменшення кількості опадів у липні і серпні, порівняно з багаторічними даними, достатня зволоженість ґрунту в червні забезпечила сприятливі умови для формування урожайності кукурудзи. Серпень 2020 р. за кількістю опадів перевищив показники 2019 р. майже в три рази. Основна кількість опадів випала в третій декаді серпня. У цілому за кліматичними показниками 2020 р. виявився найбільш сприятливим для росту, розвитку та формування продуктивності кукурудзи.

Квітень 2021 р. за температурними показниками (7,7 °C) майже відповідав багаторічним даним – 6,6 °C. Протягом місяця спостерігалися доволі

різкі температурні стрибки від високих плюсових температур до похолодання з від'ємними температурами, заморозками та опадами у вигляді снігу. Упродовж усього місяця кількість опадів була на рівні багаторічних значень (44,6 мм). На період сівби кукурудзи встановилася тепла з незначними опадами погода.

Травень відзначився щедрими та рясними опадами, подекуди з грозами, градом та шквальним вітром. Основна маса опадів випала протягом другої та третьої декади. Опадів за травень випало 115,7 мм за норми 58 мм, або 200 %. Середньомісячна температура повітря за цей місяць склала 13,7 °С, що було в межах норми. Температурний режим травня перевищував показники 2020 р. але виявився прохолоднішим за 2019 р. Загалом погодні умови весняного періоду були дуже нестабільними: початок весни був досить прохолодний, середина – достатньо забезпечена теплом, а в кінці весняного періоду спостерігалися дощі та зливи.

Літо 2021 р. виявилось спекотним, з опадами у вигляді локальних злив, які супроводжувалися поривчастим шквальним вітром, нерівномірними грозами та градом. Опадів за літній період випало 140,3 мм (66,2 % від норми), основна частина яких припала на другу та третю декади червня (43,6 мм), а також першу декаду липня (29,4 мм). У другій декаді серпня опадів взагалі не спостерігалось. Липень виявився за температурним режимом теплішим за аналогічний період 2019 та 2020 рр. Цей місяць у 2021 р. перевищив середньомісячну температуру повітря на 5,9 °С від багаторічних норм. Середньомісячна температура повітря за літній період становила 22,0 °С, що на 2,7 °С вище від норми.

Отже, погодні умови середнє за 2019–2021 рр. в основному відповідали біологічним вимогам рослин кукурудзи, що дозволило сформувати досить високу урожайність зеленої та сухої маси. Роки з різними погодними умовами сприяли більш повному аналізу впливу досліджуваних факторів на продуктивність гібридів кукурудзи та вихід біогазу.

2.3. Схема та методика проведення досліджень

Трифакторний польовий дослід проводили за такою схемою:

Схема досліду:

Фактор А: Гібриди кукурудзи

A₁ – Амарос (ФАО 230);

A₂ – Богатир (ФАО 290);

A₃ – КВС 381 (ФАО 350);

A₄ – Каріфолс (ФАО 380)

Фактор В: Макродобрива, кг д.р./га.

V₁ – Без добрив (контроль);

V₂ – N₉₀P₆₀K₆₀;

V₃ – N₁₂₀P₉₀K₉₀.

Фактор С: Мікродобрива

C₁ – Обробка водою (контроль)

C₂ – обробка насіння YaraVita Terrosyn NP+Zn (5 л/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3-5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га)

C₃ – обробка насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3-5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га).

Площа посівної ділянки – 224 м², облікової ділянки – 186 м², повторність – чотириразова. Розміщення варіантів – систематичне. Усі обліки, спостереження та аналізи здійснювалися відповідно до загальноприйнятих методик [61, 95, 97, 119].

Експериментальні дослідження супроводжувалися такими спостереженнями, вимірами та аналізами:

– у фенологічних спостереженнях відзначали фази росту й розвитку рослин. При цьому за початок кожної фази приймалися наявність відповідних ознак не менш, ніж у 10 % рослин, за повну – у 75 % рослин [61];

– висоту визначали мірною лінійкою від поверхні ґрунту до верхівки головного стебла шляхом заміру 25 закріплених кілочками рослин кукурудзи у двох несуміжних повтореннях [97];

– показники фотосинтетичної діяльності рослин кукурудзи, а саме площу листової поверхні, фотосинтетичний потенціал (ФП) та чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) визначали за методикою А. А. Ничипоровича [103]. Площу листової поверхні обраховували за формулою:

$$Sn = 0,65 \times a \times b, \quad (2.1)$$

де Sn – площа одного листка, см^2 ; a – найширша частина листка, см ; b – довжина листка, см ; $0,65$ – коефіцієнт, який відображає конфігурацію листка.

– чисту продуктивність фотосинтезу:

$$\text{ЧПФ} = 2(B1-B2)/[n (Л1+Л2)] \quad (2.2)$$

де ЧПФ – чиста продуктивність фотосинтезу, $\text{г}/\text{м}^2$ 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.

– оцінку фотосинтетичної діяльності рослин проводили за показниками: площа листової поверхні, фотосинтетичний потенціал посіву (ФПП), використовуючи методику А. А. Ничипоровича та ін. [102]:

$$\text{ФП} = \frac{Л_1 + Л_2}{2 \times 1000} \times T \quad (2.3)$$

де ФП – фотосинтетичний потенціал посіву, $\text{млн. м}^2 \cdot \text{дїб}/\text{га}$;

$Л_1, Л_2$ – зміна площі листової поверхні в часі, $\text{тис. м}^2/\text{га}$;

T – тривалість періоду, дїб ;

– вміст сухої речовини визначали в основні фази росту і розвитку кукурудзи термостатно-ваговим методом, висушуванням у сушильній шафі за температури $+105^\circ\text{C}$ до постійної маси, з наступним перерахунком відповідно до формули (2.4) на 1 га:

$$Cp \equiv \frac{100 \times M_2}{M_1} \quad (2.4)$$

Cp – вміст сухої речовини, %; M_1 та M_2 – маса відповідно «сирого» зразка та сухої речовини, г ;

– урожайність зеленої маси визначали зважуванням рослин з облікової ділянки з наступним перерахунком на один гектар. Перед збиранням врожаю

відбирали зразки для визначення структури урожаю (співвідношення маси листків, стебел і стрижнів качана, обгорток і зерна) [95];

– визначення хімічних показників якості зеленої маси проводили в сертифікованій лабораторії «Eurofins Agro (BLGG AgroXpertus)» м. Київ за методикою З. М. Грицаєнко та ін. [47]. Хімічні аналізи виконували за такими стандартами: визначення загального азоту й обчислення сирого протеїну проводилося за методикою К'ельдаля – ДСТУ ISO 5983–2003 [51], фосфору – ДСТУ ISO 6491:2004 [53]; визначення сирого жиру – ДСТУ ISO 6492–2003 [54]; визначення сирої клітковини – ДСТУ ISO 6865:2004 [55]; сирю золу визначали згідно з ДСТУ ISO 5984:2004 [52]; визначення вмісту геміцелюлози, целюлози і лігніну у зразках кукурудзи здійснювали відповідно до методики [119];

– обрахунки виходу біогазу та енергії з біогазу проводили за методичними рекомендаціями [96]. Для розрахунку виходу біогазу приймали, що з 1 кг сухої речовини кукурудзи можливо отримати 0,6 м³ біогазу з вмістом метану 58 %. Для визначення виходу енергії з біогазу враховували, що теплотворна здатність 1 кг біогазу становить 21,6 МДж/кг.

– математичну обробку одержаних результатів дослідження проводили за допомогою дисперсійного та кореляційно-регресійного аналізів із використанням сучасних пакетів програм Excel та Statistica;

– економічну ефективність вирощування досліджуваних гібридів кукурудзи визначали після проведення дослідів і складання технологічних карт за цінами 2021 року [121].

– розрахунок енергетичної ефективності технології вирощування гібридів кукурудзи здійснювали за допомогою методичних рекомендацій [94].

2.4. Характеристика гібридів кукурудзи та мікродобрив

Амарос (ФАО 230), середньоранній гібрид, тип зерна – кременисто-подібний. Кількість рядів зерен 14–16 шт, кількість зернин в ряду, 38–44 шт, маса 1000 зерен 340–360 г, висота рослин 330–340 см, висота прикріплення качанів 120–130 см. Тип рослин ремонтантний з еректоїдним типом листків.

Гібрид універсального використання на зерно, силос, біогаз, виготовлення круп і комбікормів. Має дуже швидкі темпи росту на початку вегетації, інтенсивного типу.

Богатир (ФАО 290), середньоранній гібрид, тип зерна – кременисто-подібний. Кількість рядів зерен 14–16 шт, кількість зернин в ряду, 33–37 шт, маса 1000 зерен 310–330 г, висота рослин 330–340 см, висота прикріплення качанів 110–120 см. Гібрид призначений для використання на зерно, силос і біогаз. Силосна маса відмінної якості завдяки високому вмісту крохмалю та сухих речовин.

КВС 381 (ФАО 350), середньостиглий гібрид, високоврожайний пластичний гібрид, тип зерна – зубовидний. Висота рослини 290–300 см, висота прикріплення качанів 110–120 см, кількість рядів зерен 14–16 шт, кількість зерен у ряду 36–40 шт, маса 1000 зерен 350–360 г. Гібрид призначений для використання на зерно, силос і біогаз. Гібрид пластичного типу придатний для вирощування за інтенсивною та екстенсивною технологією. Висока толерантність до посухи та стійкість до вилягання.

Каріфолс (ФАО 380), середньостиглий гібрид подвійного напрямку використання. Кількість рядів зерен 14–16 шт, кількість зерен у ряду 38–44 шт, маса 1000 зерен 340–360 г, тип зерна – зубовидний. Висота рослин 330–340 см, висота прикріплення качанів 120–130 см. Рекомендується вирощувати на використання на зерно, силос і біогаз. Гібрид демонструє високу толерантність до посухи та добру компенсаційну здатність. Рекомендований для інтенсивних технологій вирощування. Формує качани більшого розміру при зменшенні густоти. Володіє високою компенсаційною здатністю.

Характеристика мікродобрив «Yara»

YaraVita Teprosyn NP+Zn – рідке добриво з вмістом азоту 9 %, фосфору – 6.6%, цинку – 18%. Забезпечує дружні сходи за рахунок формування міцної кореневої системи. Рослини отримують посилений імунітет та підвищену стійкість до стресів. Формуляція концентрат суспензії наноситься рівномірно й безпечно. Продукт сформульований із прилипачами, які провокують повільне

вивільнення мікроелементів, що забезпечує рослини необхідним підживленням у прикореневій зоні протягом її проростання. Рідка формуляція дозволяє змішувати з багатьма фунгіцидами та інсектицидами, які використовуються для захисту насіння.

YaraVita Maize Boost – це рідке добриво, що містить фосфор (29,5 %), калій (5,0 %), магній (4,5 %) та цинк (3,1%) для листового підживлення кукурудзи та інших культур із метою попередження або подолання дефіциту зазначених елементів. Рідка формуляція дозволяє легко вимірювати, застосовувати, та змішувати продукт. Можна застосовувати спільно з багатьма агрохімікатами, дозволяючи легко інтегрувати продукт у програми захисту рослин.

YaraTera Tenso Cocktail – є стабільною, розчинною у воді сумішшю заліза (2,1 %), марганцю (2,57 %), міді (0,53 %), кальцію (2,57 %), бору (0,52 %), цинку (0,53 %) в хелатній формі (EDTA). Коктейль задовольняє потребу рослин у мікроелементах в умовах відкритого і закритого ґрунту. Він застосовується через різні системи поливу, для позакореневого живлення та передпосівної обробки насіння. Швидко розчиняється у воді, тому його можна застосовувати в якості додаткових мікроелементів, наприклад, разом з іншими водорозчинними добривами. YaraTera Tenso Cocktail сумісний із більшістю агрохімікатів.

YaraVita Kombiphos – препарат, призначений для підсилення рослин у періоди швидкого росту або допомоги рослинам подолати періоди з несприятливими кліматичними умовами. YaraVita KombiPhos містить фосфор (29,7 %), калій (5,1 %), магній (2,7 %), цинк (0,3 %) і марганець (0,7 %). Рідка формуляція дозволяє легко влити й перемішати продукт у баку оприскувача.

2.5. Технологія вирощування кукурудзи на дослідних ділянках

Агротехніка вирощування кукурудзи на силос була загальноприйнятою для умов Правобережного Лісостепу України, крім факторів, що вивчалися. Попередник – пшениця озима. Основний обробіток ґрунту включав такі види

робіт: дискування у два сліди дисковою бороною БДТ-7 (6–8 см), оранку ПЛН 5–35 (23–25 см). Основну частину мінеральних добрив (макродобрив) вносили восени поділяночно у вигляді нітроамофоски ($N_{60}P_{60}K_{60}$ і $N_{90}P_{90}K_{90}$), решту азотних (аміачна селітра) (N_{30} і N_{30}) – весною перед сівбою.

Передпосівний обробіток ґрунту проводили навесні агрегатом «Європак 6000» на глибину 6–8 см. Добрива YaraVita Teprosyn NP+Zn (5 л/т) і YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) застосовували для обробки насіння кукурудзи перед сівбою. Сівбу кукурудзи проводили у 2019 р. – 23 квітня, у 2020 р. – 28 квітня, а у 2021 р. – 30 квітня сівалкою «Мультикорн» на глибину 4–6 см із шириною міжрядь 70 см та нормою висіву насіння 80 тис. шт./га на кінцеву густоту. Позакореневе підживлення препаратами YaraVita Maize Boost і YaraVita Kombiphos проводили у фазу 3–5 листків кукурудзи із нормою витрати 4 і 3 л/га, витрата робочої рідини – 300 л/га. Збирання кукурудзи на силос здійснювали поділяночно у фазі воскової стиглості зерна комбайном «John Deere 7350».

Висновки з розділу 2

1. Ґрунт, на якому проводилися дослідження, – чорнозем опідзолений середньосуглинистий малогумусний у достатній мірі забезпечений елементами живлення, що сприяє реалізації високого рівня продуктивності гібридів кукурудзи.

2. У роки проведення досліджень погодні умови в основному відповідали біологічним вимогам рослин кукурудзи, що дозволило сформувати досить високу урожайність зеленої та сухої маси. Контрастність погодних умов сприяла більш повному аналізу впливу досліджуваних факторів на продуктивність гібридів культури та вихід біогазу.

3. Агротехніка вирощування кукурудзи на силос була загальноприйнятою для умов Правобережного Лісостепу України, крім досліджуваних факторів.

РОЗДІЛ 3

ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ І РОЗВИТКУ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ПІД ВПЛИВОМ ДОСЛІДЖУВАНИХ ФАКТОРІВ

3.1. Тривалість міжфазних та вегетаційного періодів гібридів кукурудзи

Важливе значення для аналізу процесів росту, розвитку та формування врожаю зеленої маси кукурудзи має послідовність етапів індивідуального розвитку рослин упродовж вегетаційного періоду. Залежно від гідротермічних особливостей та рівня мінерального живлення рослин змінюється як тривалість окремих міжфазних періодів, так і загальна тривалість періоду вегетації кукурудзи [24, 43].

Диференціація за кількістю листків на рослині тісно пов'язана з тривалістю періоду «сходи-цвітіння», що дає змогу класифікувати різні за групою стиглості гібриди кукурудзи за цією ознакою. На тривалість періоду від сівби до появи волотей сильно впливає сформована кількість листків, оскільки фаза росту листків становить значну частину цього періоду [226, 245]. Період від сівби до появи волотей та від появи волотей до формування зерна корелюють, що вказує на те, що фенологію протягом усього життєвого циклу кукурудзи можна передбачити за генотипом і впливом навколишнього середовища на кінцеву кількість листків [172]. Максимальна необхідність у поживних речовинах в кукурудзи відмічається перед викиданням волоті і при формуванні качанів [98].

Використання макро- та мікродобрив меншою мірою впливали на тривалість періоду «сівба-сходи» та «сходи-цвітіння качанів». Найбільше добрива впливають на проходження періоду «цвітіння качанів-молочна стиглість зерна» і «молочна стиглість-молочно-воскова стиглість зерна» [34].

Повні сходи в досліджуваних гібридів кукурудзи в середньому за три роки з'явилися на 7–8 добу, незалежно від дози макродобрив (табл. 3.1–3.2). На деяких варіантах відмічено скорочення тривалості «сівба-сходи» на одну добу при використанні обробки насіння YaraVita Terposyn NP+Zn (5 л/т) і YaraTera

Tenso Cocktail (0,15 кг/т), порівняно з контролем.

Таблиця 3.1

Тривалість основних міжфазних та вегетаційного періодів середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрих (середнє за 2019–2021 рр.), діб

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива*	Сівбасходи	Сходи-цвітіння качанів	Сходи-молочна стиглість зерна	Сходи-молочно-воскова стиглість зерна	Сходи-воскова стиглість зерна
Амарос	Без добрив	1	8	53	76	86	98
		2	8	53	76	86	98
		3	8	53	76	86	97
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	8	53	77	87	99
		2	8	53	77	87	99
		3	7	53	77	87	99
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	8	54	77	88	100
		2	8	54	77	88	100
		3	7	54	76	88	100
Богатир	Без добрив	1	8	55	77	88	101
		2	8	55	76	89	100
		3	8	55	77	88	101
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	8	55	78	89	102
		2	7	54	79	88	102
		3	7	55	78	89	102
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	8	56	79	90	103
		2	7	56	79	90	103
		3	8	56	79	90	103

*Примітка, тут і далі в таблицях. 1. Без застосування (контроль); 2. Обробка насіння YaraVita Terposyn NP+Zn (5 л/т)+ обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га); 3. Обробка насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т)+обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га)

Тривалість періоду «сходи-цвітіння качанів» залежала від групи стиглості гібридів, а також використання макро- та мікродобрих. Різниця між середньоранніми і середньостиглими гібридами становила 3–5 діб. За комплексної обробки мікродобривами «Yara» насіння та вегетуючих рослин кукурудзи не спостерігалось скорочення періоду «сходи-цвітіння качанів». У

той же час відмічено подовження тривалості зазначеного періоду на 1–2 доби на всіх варіантах застосування макродобрих, порівняно з контролем.

Таблиця 3.2

Тривалість основних міжфазних та вегетаційного періодів середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрих (середнє за 2019–2021 рр.), діб

Гібрид	Макродобрих	Мікродобрих	Сівбасходи	Сходи-цвітіння качанів	Сходи-молочна стиглість зерна	Сходи-молочно-воскова стиглість зерна	Сходи-воскова стиглість зерна
КВС 381	Без добрив	1	8	57	84	95	106
		2	8	57	84	94	106
		3	8	57	83	95	105
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	8	58	85	96	107
		2	7	58	84	96	106
		3	7	58	85	95	107
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	8	59	85	97	108
		2	8	59	85	96	108
		3	7	59	84	97	108
Каріфолс	Без добрив	1	8	59	87	97	109
		2	8	59	87	97	109
		3	8	59	87	97	109
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	8	60	88	98	110
		2	8	60	88	97	110
		3	7	60	87	98	109
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	8	61	89	99	111
		2	7	61	88	99	111
		3	7	61	89	98	111

Подібна закономірність спостерігалася і в період «сходи–молочна стиглість зерна». Тривалість цього періоду на контрольному варіанті у гібрида Амарос становила 76 діб, Богатир – 77 діб, КВС 381 – 84 діб і Каріфолс – 87 діб, відповідно. При використанні N₉₀P₆₀K₆₀ тривалість періоду «повні сходи–молочна стиглість зерна» подовжилася на 1 добу, а N₁₂₀P₉₀K₉₀ – на 1–2 доби. У

середньому при внесенні макродобрих фаза молочної стиглості зерна наступила на 25 добу після цвітіння качанів. У варіантах із застосуванням мікродобрих цей період практично не змінювався, порівняно з контрольними варіантами.

У гібридів середньоранньої групи періоди «молочна–молочно-воскова стиглість зерна» і «молочно-воскова–воскова стиглість зерна» становили 10–11 і 11–12 діб, а в гібридів середньостиглої групи – 10–12 і 11–13 діб. Менша тривалість молочної і воскової стиглості зерна відмічена у гібридів Амарос і Богатир, а дещо більша – у гібридів КВС 381 і Каріфолс.

Тривалість періоду вегетації в середньому за три роки становила в гібрида Амарос 98 діб, Богатир – 101 добу, КВС 381 – 106 діб і Каріфолс – 109 діб. Використання макродобрих подовжувало період вегетації на 1–2 доби, а мікродобрих не впливали на тривалість вегетаційного періоду.

Наші результати співпадають з даними, отриманими О. С. Іванишиним [66], який зауважує, що тривалість міжфазних і вегетаційного періодів кукурудзизмінювалися на 1–3 доби залежно від застосування добрив, зокрема на більш високих фонах – 250 та 300 кг/га д.р. Мікродобрих, навпаки, не впливали на перебіг фаз росту й розвитку рослин кукурудзи.

Розрахунки кореляційних зв'язків між тривалістю вегетаційного періоду досліджуваних гібридів, кількістю опадів та сумою температур засвідчили високий рівень взаємозв'язку. Так, коефіцієнт кореляції між тривалістю вегетаційного періоду та сумою температур складав $r=0,97$, між тривалістю вегетаційного періоду та сумою опадів $r=0,86$. Коефіцієнт множинної детермінації становив $R^2=0,94$ і $0,75$, тобто на 94,0 75,0 % тривалість періоду вегетації гібридів кукурудзи залежала від гідротермічних умов року.

Отже, згідно з проведеними фенологічними спостереженнями за ростом і розвитком гібридів кукурудзи встановлено, що застосування макродобрих сприяє подовженню вегетаційного періоду на 1–2 доби, а мікродобрих скорочує його на 1 добу. Крім добрив, значний вплив на проходження фаз росту

й розвитку рослинами кукурудзи мали гідротермічні умови в роки проведення досліджень.

3.2. Висота рослин кукурудзи

Застосування мікродобрив та регуляторів росту рослин на посівах кукурудзи позитивно впливає на ріст і розвиток рослин, а також на формування врожаю. На варіантах із внесенням мікродобрив та регуляторів росту урожайність зерна гібридів кукурудзи збільшувалася на 0,54–1,26 т/га [135]. Використання органо-мінерального удобрення є ефективним заходом впливу на ростові процеси рослин кукурудзи [24, 118].

Відповідно до даних, отриманих у Лісостепу України, найбільший приріст висоти рослин у фазі молочно-воскової стиглості зерна кукурудзи відбувається при проведенні передпосівної обробки насіння препаратом «Емістим С» та позакореневого підживлення мінеральним добривом «Еколист багатокомпонентний» у поєднанні з «Емістимом С» [123].

У Південному степу України [12, 78, 90] висота рослин кукурудзи змінювалася залежно від фази росту та препаратів для передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення й коливалася у фазу молочної стиглості зерна від 225 до 281 см.

На основі досліджень Я. Т. Скринника [127] встановлено, що спостерігається тенденція до підвищення біометричних показників (висоти рослин і закладання качанів, діаметру стебла, кількості листків та їхньої площі) при обприскуванні посівів кукурудзи комплексними рідкими добривами у фазі 3–5 листків як на фоні застосування мінеральних добрив, так і без них. Найбільші значення цих показників отримано на варіанті без внесення добрив та листовому підживленні рослин препаратом «Реаком Р», а на мінеральному фоні – при використанні комплексного мікродобрива «Реаком Плюс».

При підвищенні дози мінеральних добрив від $N_{30}P_{30}K_{30}$ до $N_{45}P_{45}K_{45}$ і $N_{60}P_{60}K_{60}$ в Північному степу України висота рослин кукурудзи збільшувалася на 3 і 7 см, площа листової поверхні однієї рослини – на 4,8 і 10,9 % відповідно.

Завдяки позакореновому підживленню висота рослин збільшувалась на 2–5 см, а площа листків змінювалася неістотно [58].

У наших дослідженнях на висоту рослин кукурудзи впливала група стиглості гібридів, застосування макро- та мікродобрих та погодні умови в роки досліджень [108]. Так, у середньому за 3 роки цей показник у фазу 11–12 листків становив у середньоранніх гібридів Амарос і Богатир 138,7–155,3 см, у середньостиглих КВС 381 і Каріфолс – 146,0–163,0 см (табл. 3.3–3.4).

Таблиця 3.3

Динаміка зміни висоти рослин середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрих (середнє за 2019–2021 рр.), см

Гібрид	Макродобри ва	Мікродобри ва	11–12 листоків	Цвітіння качанів	Воскова стиглість зерна
Амарос	Без добрив	1	138,7	191,7	212,7
		2	140,7	196,0	216,0
		3	140,7	196,0	216,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	143,3	201,3	220,0
		2	145,7	204,0	223,3
		3	145,7	204,7	224,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	148,7	207,3	225,0
		2	150,3	209,7	228,7
		3	150,3	210,3	229,3
Богатир	Без добрив	1	141,0	199,0	216,3
		2	143,0	202,0	220,7
		3	143,0	202,0	220,7
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	148,7	209,3	226,0
		2	150,7	211,7	230,3
		3	150,7	212,3	231,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	153,3	213,0	232,3
		2	155,3	216,3	236,0
		3	155,3	217,0	236,7
V, %			6,4	8,5	7,6

При застосуванні макродобрих висота рослин у цей період збільшувалася на 3,4–8,7 %, а мікродобрих – 1,1–2,0 % порівняно з ділянками без їх внесення. На контрольних варіантах, залежно від груп стиглості гібридів, висота рослин

була в межах 138,7–150,0 см. У цей період не відмічено різниці за висотою рослин між другим і третім варіантами використання мікродобрив.

Таблиця 3.4

Динаміка зміни висоти рослин середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив (середнє за 2019–2021 рр.), см

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	11–12 листків	Цвітіння качанів	Воскова стиглість зерна
КВС 381	Без добрив	1	146,0	204,3	222,0
		2	148,7	206,7	225,3
		3	148,7	206,7	225,3
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	153,3	215,7	231,0
		2	155,7	218,7	235,0
		3	155,7	219,3	235,7
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	158,7	221,0	237,3
		2	160,7	223,7	241,0
		3	160,7	224,3	241,7
Каріфолс	Без добрив	1	150,0	211,7	228,3
		2	152,0	214,3	231,3
		3	152,0	214,3	231,3
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	156,0	220,3	238,3
		2	157,7	223,3	242,3
		3	157,7	222,7	241,7
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	161,0	225,0	244,7
		2	163,0	228,0	249,0
		3	163,0	227,7	248,3
V, %			6,4	8,5	7,6

За даними наших спостережень, найбільш інтенсивний ріст рослин кукурудзи у висоту відбувався до фази цвітіння качанів. Показник висоти рослин у цей період становив у середньоранніх гібридів 191,7–217,0 см а в середньостиглих – 204,3–227,7 см. При застосуванні макродобрив висота рослин зростала на 4,1–9,6 % а мікродобрив – 1,5–2,6% порівняно з ділянками без їх внесення. Найбільшу висоту формували рослини на ділянках із внесенням N₁₂₀P₉₀K₉₀, мінімальну – на контрольних варіантах. Незначну

перевагу за висотою рослин відмічено на варіантах з обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) і обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) порівняно з обробкою насіння YaraVita Terprosyn NP+Zn (5 л/т) й обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га), хоча достовірної різниці в роки досліджень між ними не спостерігалось (Додаток А.1–А.2).

Найвищими у фазу «цвітіння качанів» були рослини гібриду Каріфолс при застосуванні $N_{120}P_{90}K_{90}$ та мікродобрив – 227,7–228,0 см, що на 13,3–13,7 см вище від контрольних варіантів.

Максимальної висоти рослини кукурудзи досягали у фазу воскової стиглості зерна. Найбільш високорослими виявилися рослини середньостиглих гібридів – 222,0–249,0 см, а в середньоранніх цей показник становив 212,7–236,7 см. При застосуванні макро- та мікродобрив приріст за висотою рослин був 3,4–7,6 %, а мікродобрив – 1,5–1,8 % порівняно з ділянками без їх внесення.

Найменшу висоту на основі дослідів отримано в гібриду Амарос на варіанті без внесення макро- та мікродобрив – 212,7 см, а найбільшу – у гібриду Каріфолс при застосуванні $N_{120}P_{90}K_{90}$ й обробки насіння препаратом YaraVita Terprosyn NP+Zn (5 л/т), а також при обприскуванні кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га) – 249,0 см. При цьому різниці між другим і третім варіантом із використанням мікродобрив не відмічено.

У роки досліджень відмічено зміну висоти рослин досліджуваних гібридів кукурудзи під впливом погодних умов. Так, найменшою вона була в менш сприятливому за кліматичними показниками 2019 р. та вищою на 12,4–24,5 % у більш вологозабезпечених 2020 і 2021 роках (Додаток А.1–А.2).

За даними регресійного аналізу, здійсненого В. Я. Хоміною і О. С. Іванишином [140] між біометричними показниками гібридів кукурудзи та застосуванням макро- та мікродобрив, виявлено середні та сильні кореляційні зв'язки від 0,44 до 0,91, за винятком зв'язку між нормою мікродобрива та висотою рослин ($r=0,27$).

Встановлено, що найвищий вплив на показник висоти рослин гібридів має внесення макро добрив – 67,7 %, а частка впливу гібридів становить – 24,6 %. Зауважено, що мікродобрива впливають на рівні 5,7 % (рис. 3.1).

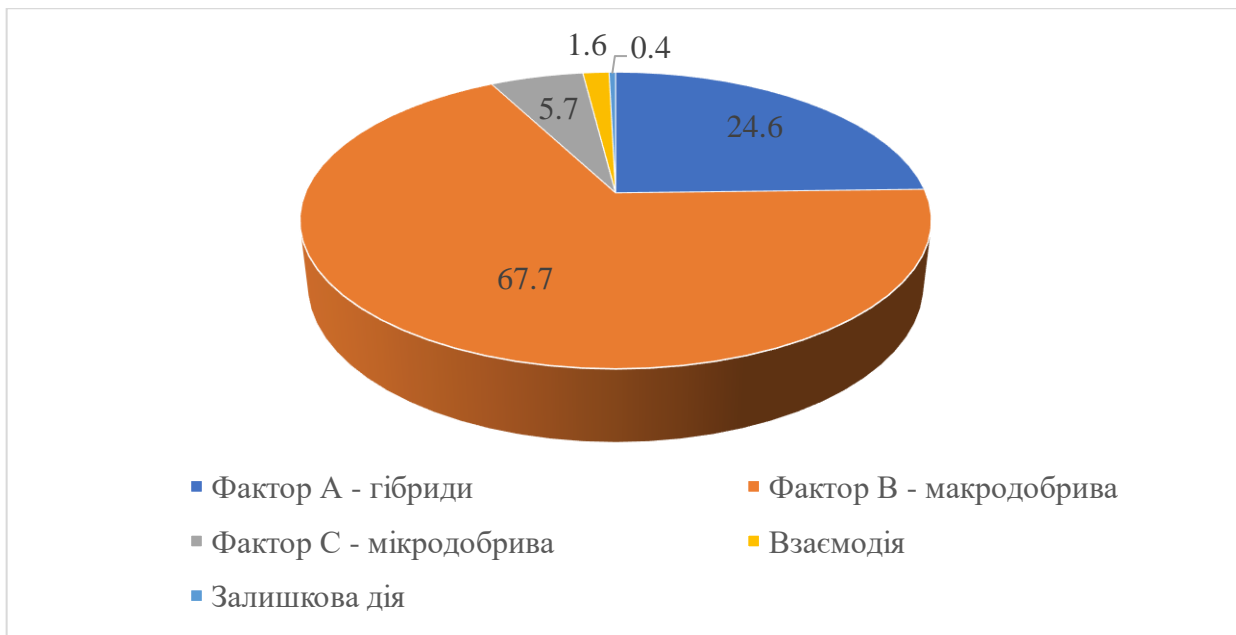


Рис. 3.1. Частка впливу досліджуваних факторів на показники висоти рослин кукурудзи гібридів у фазу воскової стиглості зерна, %

Взаємодія досліджуваних факторів є невисокою в межах 1,6%. Невеликий показник залишкової дії (0,4 %) можна пояснити високим рівнем технології вирощування кукурудзи на дослідних ділянках.

Отримані дані свідчать про те, що інтенсивне наростання висоти рослин відбувається до фази цвітіння, а максимальне її значення спостерігається у фазу воскової стиглості зерна при використанні макро- та мікродобрив.

3.3. Фотосинтетична діяльність посівів кукурудзи

Фотосинтетична діяльність листкового апарату рослин гібридів кукурудзи, її рівень та інтенсивність розвитку визначає загальну продуктивність і кінцеву врожайність цієї культури [135]. Активність фотосинтетичних процесів у рослинах залежить від генетичних особливостей та біологічних властивостей, а також від умов навколишнього середовища (світло, температура, вологість, забезпечення елементами мінерального живлення і т. д.) [8, 117]. Найсприятливіші умови для формування врожаю основних

культурних рослин створюються тоді, коли загальна площа листків приблизно у 3–4 рази перевищує площу ґрунту, зайняту рослинами [48].

Величина врожаю кукурудзи значним чином обумовлюється площею листової поверхні, яка здатна акумулювати сонячну енергію в процесі фотосинтезу та споживанням елементів живлення для створення органічної речовини [76, 111].

Завдяки макро- та мікроелементам, які входять до складу хелатного добрива, подовжується тривалість життя листків рослин кукурудзи упродовж репродуктивного періоду розвитку та активна діяльність фотосинтетичного апарату протягом усього періоду вегетації. Це сприяє підтриманню пулу асиміляторів у рослині на достатньо високому рівні, від якого суттєво залежить продуктивність культури. А зростання вмісту водорозчинних вуглеводів свідчить про активне функціонування донорно-акцепторних зв'язків у цих рослин у другій половині вегетації, спричинене як оптимальним рівнем живлення, так і впливом «Емістиму С» та посиленням транспортування цукрів із листків до атрагуючих центрів [13, 137].

За даними результатів досліджень, проведених в Інституті кормів НААН, технологічні прийоми вирощування впливали на показники фотосинтетичної продуктивності гібридів кукурудзи. Внесення мінеральних добрив збільшувало площу листової поверхні рослин на 25–30 %. Фотосинтетичний потенціал посівів гібридів кукурудзи мав максимальні значення (4,42 млн $\text{m}^2 \times \text{дїб/га}$) у фазі молочної стиглості у середньостиглого гібрида Харківський 311 МВ за густоти 120 тис./га і норми мінеральних добрив $\text{N}_{150}\text{P}_{90}\text{K}_{160}$ [74].

Згідно з результатами, отриманими В. В. Лихочвором і Л. М. Шинкарук [82] найбільшу площу листової поверхні посіву кукурудзи (3572,7 тис. $\text{m}^2/\text{га}$) та чисту продуктивність фотосинтезу рослин (9,74 г/м^2 сухої речовини за добу) забезпечив варіант застосування мінеральних добрив в нормі $\text{N}_{160}\text{P}_{80}\text{K}_{140}$ та позакореневого підживлення рослин у макростадії 1 ВВСН 20 мікродобривами «Рексолін АВС» (2,0 л/га) + «Maize boost» (0,2 кг/га), карбамідом (5 % розчином) та сульфатом магнію (5 % розчином).

В умовах Херсонської області площа листкової поверхні кукурудзи істотно змінювалася залежно від фаз розвитку рослин, а також гібридного складу, густоти стояння рослин та фону азотного живлення. Азотні добрива забезпечили зростання площі асиміляційної поверхні на 12,3–24,7 %. Найменший фотосинтетичний потенціал посівів виявився у гібрида Тібор за мінімальної густоти стояння рослин та без внесення азотних добрив [11, 79].

Позакореневе підживлення кукурудзи препаратом «Реаком Плюс» у фазі 6–7 листків (4 л/га) сприяло збільшенню кількості зелених листків на рослинах на 2–5 %, площі асиміляційної листової поверхні на 8–9 % та вмісту хлорофілу в листках на 19–18 %, порівняно з контролем [127].

Проведення позакореневого підживлення «Цеовітом мікро» на фоні карбаміду позитивно впливало на наростання площі листкової поверхні. Максимального значення (52,8 тис. м²/га) ці показники засвідчили в середньостиглого гібрида кукурудзи Метеор 317 МВ у фазу молочної стиглості зерна [62].

За даними, отриманими у Вінницькому національному аграрному університеті, максимальна площа листкової поверхні (49,5 тис м²/га) у гібриду кукурудзи Діалог була у фазу цвітіння волотей, за передпосівної обробки насіння бактеріальним препаратом «Поліміксобактерином» та обробки вегетуючих рослин мікродобривом «Мікро-Мінераліс (кукурудза)» та біостимулятором росту рослин «Стимпо» [87].

Відповідно до наших спостережень, інтенсивне наростання площі листкової поверхні у гібридів кукурудзи проходило до фази молочної стиглості зерна. У наступні періоди площа листкової поверхні поступово зменшується. Відмічено позитивний вплив макро- та мікродобрив на формування листкової поверхні рослин кукурудзи. У фазу молочної стиглості зерна на ділянках без застосування добрив вона складала 35,8–42,1 тис. м²/га а при застосуванні добрив, в залежності від гібриду та варіанту удобрення – 38,1–48,8 тис. м²/га (табл. 3.5–3.6).

Таблиця 3.5

Динаміка формування листкової поверхні рослин середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив (середнє за 2019–2021 рр.), тис. м²/га

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	Цвітіння качанів	Молочна стиглість зерна	Воскова стиглість зерна
Амарос	Без добрив	1	36,6	35,8	34,9
		2	39,0	38,1	37,0
		3	39,6	38,4	37,3
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	39,5	38,6	37,6
		2	41,5	40,9	39,8
		3	42,0	41,3	40,2
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	41,5	40,7	39,6
		2	43,9	43,2	42,0
		3	44,3	43,5	42,3
Богатир	Без добрив	1	37,6	37,2	36,2
		2	40,6	40,0	38,9
		3	40,9	40,4	39,3
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	40,5	39,0	38,0
		2	42,4	41,6	40,5
		3	42,7	42,1	40,9
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	42,5	42,0	40,9
		2	44,9	44,1	42,9
		3	45,3	44,5	43,3
V, %			5,6	6,8	4,7

У фазу цвітіння качанів показники площі листкової поверхні на варіантах із внесенням N₉₀P₆₀K₆₀ становили у середньоранніх гібридів кукурудзи – 39,5–42,7 тис. м²/га, N₁₂₀P₉₀K₉₀ – 41,5–45,3 тис. м²/га а у середньостиглих гібридів – 43,2–47,6 тис. м²/га і 44,9–49,0 тис. м²/га, за середніх показників на контролі – 39,0 і 44,0 тис. м²/га. Збільшення площі листкової поверхні від застосування N₉₀P₆₀K₆₀ складало 4,4–7,9%, N₁₂₀P₉₀K₉₀ – 7,4–13,4%, порівняно з контрольними варіантами.

Динаміка формування листкової поверхні рослин середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрих (середнє за 2019–2021 рр.), тис. м²/га

Гібрид	Макродобри ва	Мікродобри ва	Цвітіння качанів	Молочна стиглість зерна	Воскова стиглість зерна	
КВС 381	Без добрив	1	41,8	40,6	39,5	
		2	44,2	43,8	42,6	
		3	44,6	44,3	43,1	
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	43,2	42,4	41,3	
		2	46,5	46,0	44,7	
		3	47,0	46,4	45,2	
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	44,9	44,4	43,2	
		2	48,2	47,6	46,3	
		3	48,7	48,0	46,7	
	Каріфолс	Без добрив	1	42,5	42,1	41,0
			2	45,0	44,2	43,0
			3	45,5	44,7	43,5
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀		1	44,6	44,2	43,0	
		2	47,1	46,5	45,2	
		3	47,6	46,9	45,7	
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀		1	46,1	45,5	44,3	
		2	48,5	48,4	47,1	
		3	49,0	48,8	47,5	
V, %			5,6	6,8	4,7	

Застосування при обробці насіння YaraTera Tenso Cocktail та у фазу 3–5 листків YaraVita Kombiphos забезпечило збільшення площі листкової поверхні рослин середньоранніх гібридів на 2,2–3,3 тис. м²/га або 5,5–8,8% та середньостиглих на 2,9–3,8 тис. м²/га або 6,2–8,9%, порівняно з контрольними варіантами. При обробці насіння YaraVita Teprosyn NP+Zn і обприскуванням посівів кукурудзи у фазі 3-5 листків YaraVita Maize Boost цей показник зростає на 1,9-2,8 тис. м²/га і 4,7–8,0% та на 2,4–3,3 тис. м²/га і 5,1–7,8% відповідно.

Максимальна площа листкової поверхні відмічена у гібриду кукурудзи Каріфолс на варіанті із внесенням N₁₂₀P₉₀K₉₀ та третьому варіанті мікродобрих (YaraTera Tenso Cocktail + YaraVita Kombiphos) – 49,0 тис. м²/га. У гібриду

КВС 381 цей показник становив 48,7 тис. м²/га. Найменшу площу листової поверхні сформував середньоранній гібрид Амарос – 36,6 тис. м²/га на варіанті без застосування добрив.

У фазу молочної стиглості зерна площа листової поверхні зменшилась в середньому на 5,3%, порівняно з попереднім періодом обліків а у фазу воскової стиглості зерна ще на 6,8%.

Найменшою площа листків досліджуваних гібридів кукурудзи, у фазу цвітіння качанів, була у 2019 р. – 32,4–48,2 тис. м²/га, найвищою у 2020 р. – 40,0–49,6 тис. м²/га а у 2021 р. цей показник був в межах 37,3–49,1 тис. м²/га (Додаток Б.1–Б.2).

Встановлено частку впливу досліджуваних факторів на формування площі листової поверхні гібридів у фазу цвітіння качанів (рис. 3.2).

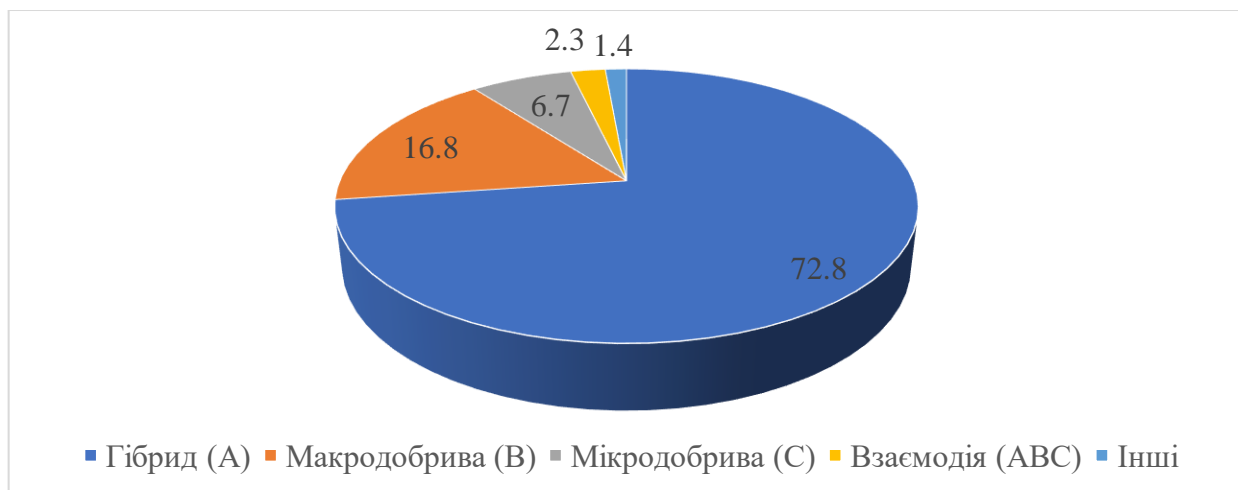


Рис. 3.2. Частка впливу досліджуваних факторів на формування площі листової поверхні гібридів кукурудзи

Найбільший вплив на формування площі листової поверхні мав гібрид (фактор А) (72,8%). Макродобрива (фактор В) впливали на 16,8% і найменше – на 6,7% впливали мікродобрива (фактор С) а взаємодія між факторами становила 2,3%.

Результати наших досліджень співпадають з даними О. С. Іванишина [66–68] якими встановлено, що гібрид був найбільш впливовим чинником, його частка впливу становила 73%, норми добрив впливали на 20% і найменше – на 6% впливали норми мікродобрив. На інші фактори припадало близько 1%.

Відмічена тісна кореляційна залежність між площею листової поверхні рослин та урожайністю зеленої маси гібридів кукурудзи (табл. 3.7). Ця залежність має постійний характер, лише у фазу воскової стиглості зерна спостерігається її зменшення за рахунок поступового відмирання листків у рослин кукурудзи.

Таблиця 3.7

Регресійні залежності (R^2) та кореляційні зв'язки (r) між площею листової поверхні (тис. $m^2/га$) та урожайністю зеленої маси гібридів кукурудзи (т/га)

Показники	Фази росту і розвитку рослин			
	цвітіння качанів	молочна стиглість зерна	молочно-воскова стиглість зерна	воскова стиглість зерна
Середньоранні гібриди				
Коефіцієнт детермінації (R^2)	0,96	0,94	0,96	0,81
Коефіцієнт кореляції (r)	0,98	0,97	0,98	0,90
Середньостиглі гібриди				
Коефіцієнт детермінації (R^2)	0,96	0,98	0,96	0,86
Коефіцієнт кореляції (r)	0,98	0,99	0,98	0,93

Зміну площі листової поверхні залежно від групи стиглості гібридів наведено на рисунку 3.3. В середньому середньостиглі гібриди кукурудзи переважали середньоранні на 4,4–4,6 тис. $m^2/га$.

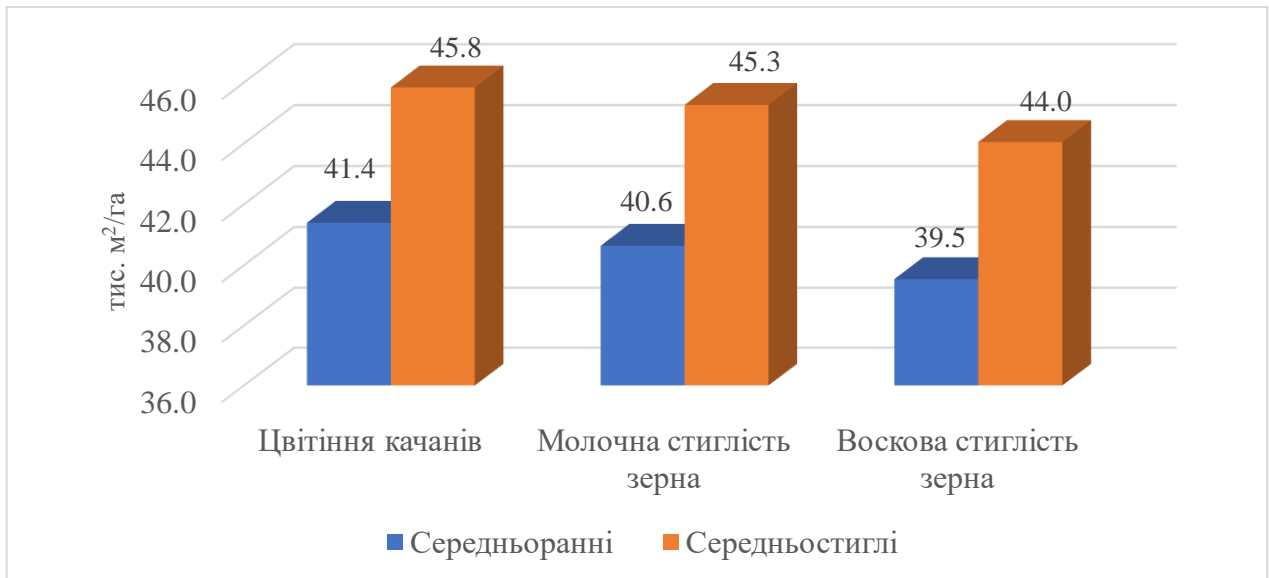


Рис. 3.3. Зміна площі листкової поверхні рослин кукурудзи в залежності від групи стиглості гібридів (середнє за 2019–2021 рр.), тис. м²/га

Чиста продуктивність фотосинтезу залежала від біологічних особливостей гібридів, застосування макро- та мікродобрих та фази розвитку рослин кукурудзи (табл. 3.8–3.9). Найвищі значення цього показника отримано у фазу цвітіння качанів 8,95–11,68 г/м² за добу, а у фазу воскової стиглості він був меншим на 31,6–38,4% за рахунок поступового відмирання листків на рослинах.

На варіантах без застосування макро- та мікродобрих показники чистої продуктивності фотосинтезу в усі періоди обліків були нижчими порівняно із їх застосуванням. Так, у фазу цвітіння качанів, в середньому по гібридах, збільшення чистої продуктивності фотосинтезу становило при застосуванні N₉₀P₆₀K₆₀ 6,5% та 9,6% при N₁₂₀P₉₀K₉₀, порівняно з контролем. Від внесення мікродобрих цей приріст складав 2,3–3,9%.

Найменшу чисту продуктивність фотосинтезу у фазу цвітіння забезпечив гібрид Амарос 8,95 г/м² за добу на варіанті без застосування добрив. Максимальні значення цього показника отримано у гібриду Каріфолс при використанні N₁₂₀P₉₀K₉₀ та обробки насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) і

обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) – 11,68 г/м² за добу.

Таблиця 3.8

Чиста продуктивність фотосинтезу в основні фази розвитку середньоранніх гібридів кукурудзи (середнє за 2019–2021 рр.), г/м² за добу

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	11-12 листків	Цвітіння качанів	Воскова стиглість зерна
Амарос	Без добрив	1	7,08	8,95	5,67
		2	7,23	9,20	5,82
		3	7,25	9,27	5,80
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	7,56	9,43	5,85
		2	7,71	9,61	5,99
		3	7,78	9,65	6,04
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	7,78	9,68	6,03
		2	7,92	9,82	6,19
		3	7,96	9,91	6,27
Богатир	Без добрив	1	7,43	9,40	5,87
		2	7,60	9,56	5,96
		3	7,65	9,54	6,03
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	7,78	9,73	6,25
		2	7,90	9,89	6,37
		3	7,99	9,97	6,45
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	7,98	9,84	6,52
		2	8,13	9,91	6,57
		3	8,23	9,98	6,68
V, %			2,23	3,41	3,27

Фотосинтетичний потенціал повніше, ніж площа листкової поверхні, характеризує реальні можливості синтезу органічної речовини посівами. Висока продуктивність посіву забезпечується за умови, якщо його фотосинтетичний потенціал досягає оптимальної величини – не менш 2 млн м²×га за 100 діб вегетації [139]. Танчиком С. П. і Усатим Г. Ю. [130] було встановлено, що підвищення забезпеченості рослин елементами живлення сприяє зростанню загальної площі листкової поверхні і відповідно

фотосинтетичного потенціалу посівів кукурудзи.

Таблиця 3.9

Чиста продуктивність фотосинтезу в основні фази розвитку середньостиглих гібридів кукурудзи (середнє за 2019-2021 рр.), г/м² за добу

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	11-12 листків	Цвітіння качанів	Воскова стиглість зерна
КВС 381	Без добрив	1	8,61	10,59	6,93
		2	8,76	10,76	7,11
		3	8,78	10,71	7,04
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	9,02	11,11	7,38
		2	9,18	11,33	7,57
		3	9,20	11,28	7,50
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	9,30	11,39	7,64
		2	9,43	11,58	7,77
		3	9,42	11,51	7,72
Каріфолс	Без добрив	1	8,95	10,80	7,32
		2	9,10	10,96	7,47
		3	9,21	11,01	7,49
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	9,23	11,18	7,79
		2	9,44	11,34	7,92
		3	9,47	11,45	7,95
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	9,46	11,41	8,06
		2	9,63	11,56	8,21
		3	9,75	11,68	8,36
V, %			2,23	3,41	3,27

Фотосинтетичний потенціал гібридів кукурудзи був у межах 1656,3–2526,0 тис.м² х діб/га (табл. 3.10). За вирощування гібридів середньостиглих гібридів кукурудзи фотосинтетичний потенціал збільшувався на 18,6–36,5 % порівняно з середньоранніми [45].

Застосування макро- та мікродобрив сприяло підвищенню фотосинтетичного потенціалу посівів кукурудзи. При застосуванні N₉₀P₆₀K₆₀ в середньому в гібридах він збільшувався на 8,4 %, а при внесенні N₁₂₀P₉₀K₉₀ на 13,8 %, порівняно з контролем. На варіантах з обробкою насіння YaraVita Terrosyn NP+Zn й обприскуванням кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost. Приріст цього показника на ділянках без використання мікродобрив

становив 2,1%, а при обробці насіння препаратом YaraTera Tenso Cocktail й обприскуванням кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos – 2,5%.

Таблиця 3.10

Фотосинтетичний потенціал гібридів кукурудзи за період цвітіння качанів–воскова стиглість зерна (середнє за 2019–2021 рр.), тис.м² х діб/га

Макродобрива	Мікродобрива	Гібриди			
		Амарос	Богатир	КВС 381	Каріфолс
Без добрив	1	1656,3	1861,4	2023,1	2206,0
	2	1681,4	1891,0	2064,0	2246,0
	3	1690,5	1906,6	2051,8	2257,2
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	1803,4	2022,3	2170,6	2365,4
	2	1852,7	2062,4	2213,1	2409,7
	3	1878,3	2093,5	2200,7	2423,3
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	1895,0	2112,6	2252,5	2453,7
	2	1934,7	2138,5	2290,8	2506,5
	3	1956,2	2158,0	2279,6	2526,0
V, %		14,2			

Максимальний фотосинтетичний потенціал посівів зафіксовано в кукурудзи Каріфолс – 2526,0 тис.м² х діб/га на фоні внесення N₁₂₀P₉₀K₉₀ та застосуванням YaraTera Tenso Cocktail + YaraVita Kombiphos .

Встановлено тісну кореляційну залежність між фотосинтетичним потенціалом та урожайністю зеленої маси гібридів кукурудзи (рис. 3.4 і 3.5).

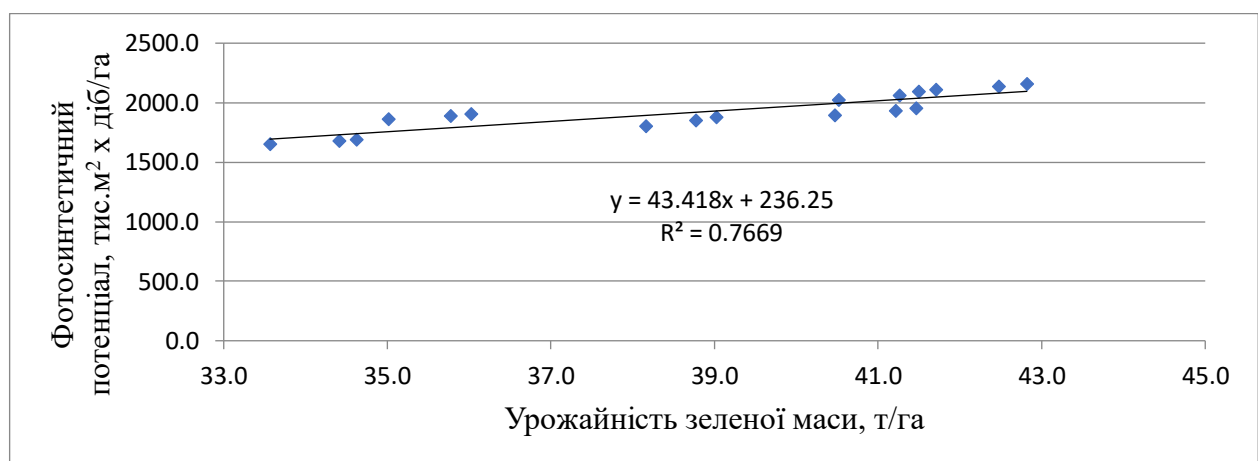


Рис. 3.4. Кореляційна залежність урожайності зеленої маси кукурудзи середньоранніх гібридів кукурудзи з фотосинтетичним потенціалом

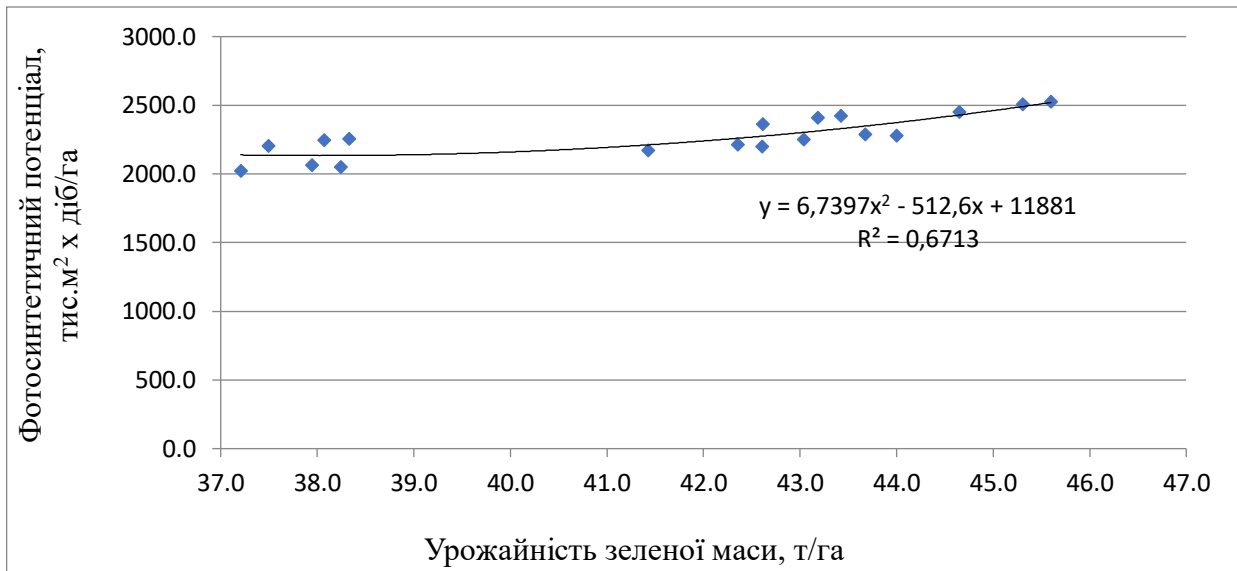


Рис. 3.5. Кореляційна залежність урожайності зеленої маси кукурудзи середньостиглих гібридів кукурудзи з фотосинтетичним потенціалом

Коефіцієнт кореляції між цими показниками становить 0,88 і 0,82 із коефіцієнтом детермінації 0,77 і 0,67 відповідно у середньоранніх і середньостиглих гібридів кукурудзи.

Висновки за розділом 3

1. Застосування макро- та мікро- добрив подовжує період вегетації кукурудзи на 1–2 доби, а мікро- добрив – навпаки скорочує його на 1 добу. У середньому за три роки тривалість періоду вегетації становила в гібрида Амарос 98 діб, Богатир – 101 добу, КВС 381 – 106 діб і Каріфолс – 109 діб. Встановлено тісні кореляційні зв'язки між тривалістю періоду вегетації кукурудзи та гідротермічними умовами в роки досліджень.

2. Найбільшу висоту рослин кукурудзи зафіксовано у фазу воскової стиглості зерна з показниками у середньостиглих гібридів 222,0–249,0 см і середньоранніх – 212,7–236,7 см. Мінімальними показниками висоти рослин відзначався гібрид Амарос на варіанті без внесення макро- та мікро- добрив – 212,7 см, а максимальними гібрид Каріфолс при застосуванні $N_{120}P_{90}K_{90}$ і обробкою насіння YaraVita Terrosyn NP+Zn (5 л/т) й обприскуванням кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га) – 249,0 см. Приріст за висотою

рослин при застосуванні макродобрих становив 3,4–7,6 %, а мікродобрих – 1,5–1,8%, порівняно з ділянками без їх внесення.

3. Максимальна площа листової поверхні була у фазу цвітіння качанів у гібриду кукурудзи Каріфолс на варіанті із внесенням $N_{120}P_{90}K_{90}$ та застосуванні мікродобрих (YaraTera Tenso Cocktail + YaraVita Kombiphos) – 49,0 тис. м²/га. Найменшу площу листової поверхні сформував середньоранній гібрид Амарос – 36,6 тис. м²/га на варіанті без застосування добрив. У фазі молочної стиглості зерна площа листової поверхні зменшилась в середньому на 5,3 %, порівняно з попереднім періодом обліків, а у фазу воскової стиглості зерна ще на 6,8 %.

4. На варіантах без застосування макро- та мікродобрих показники чистої продуктивності фотосинтезу були меншими порівняно з ділянками, де їх використовували. У фазу цвітіння качанів при застосуванні $N_{90}P_{60}K_{60}$ збільшення чистої продуктивності фотосинтезу становило 6,5 %, а $N_{120}P_{90}K_{90}$ – 9,6 %, порівняно з контролем. Приріст цього показника від внесення мікродобрих складав 2,3–3,9 %.

5. Фотосинтетичний потенціал гібридів кукурудзи був у межах 1656,3–2526,0 тис.м² х діб/га. Відмічено зростання цього показника на 18,6–36,5 % у середньостиглих гібридів порівняно із середньоранніми. Встановлено тісні кореляційні зв'язки між площею листової поверхні, фотосинтетичним потенціалом та урожайністю зеленої маси гібридів кукурудзи.

Основні положення дисертації викладені в наукових працях [34, 45, 106, 108, 185].

РОЗДІЛ 4

ЗМІНА ПРОДУКТИВНОСТІ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ПІД ВПЛИВОМ ДОСЛІДЖУВАНИХ ФАКТОРІВ

4.1. Структура врожаю гібридів кукурудзи

Завдяки макро- та мікроелементам, які входять до складу хелатних добрив, подовжується тривалість життя листків рослин кукурудзи протягом репродуктивного періоду розвитку, завдяки цьому подовжується активність фотосинтетичного апарату протягом періоду вегетації. Це сприяє підтриманню асимілянтів у рослині на достатньо високому рівні, що призводить до синхронізації цвітіння качана та волоті, від яких залежить зернова продуктивність рослин кукурудзи. Дослідженнями вчених доведено, що регулятори росту рослин часто бувають більш ефективними в роки з несприятливими погодними умовами [137].

Рівень мінерального живлення впливає на покращення структурних показників врожаю зеленої маси кукурудзи. Внесення дози добрив $N_{100}P_{80}K_{80}$ забезпечило підвищення маси рослин на 38,2 % порівняно з неудобреним варіантом [42]. Внесення мінеральних добрив позитивно впливало на підвищення частки листків, качанів та волотей як за одновидової, так і сумісної сівби сорго цукрового й кукурудзи [38, 105].

Формування урожайності зеленої маси кукурудзи значною мірою залежить від висоти рослин і частки листків, стебла та качанів у структурі врожаю. Частка листків й стебла у загальній структурі врожаю збільшується під час проходження фаз листоутворення в період вегетації. Із появою качанів під час росту й розвитку кукурудзи його відсоток збільшується у загальній масі рослини [124].

За даними, отриманими в Правобережному Лісостепу, у фазу молочної стиглості зерна середньостиглого гібриду Моніка 350 МВ масова частка листків в структурі врожаю кукурудзи становить 15,7–17,3 %, у фазу молочно-воскової стиглості зерна – 15,2–16,5 %, у фазу воскової стиглості зерна – 13,6–

14,8 %. Частка стебла у фазу молочної стиглості зерна коливається в межах 48,0–49,4 %, у молочно-восковій стиглості зерна – 47,3–48,6 %, у восковій стиглості зерна – 43,4–44,5 %. У фазу молочно-воскової стиглості зерна зафіксовано максимальні показники індивідуальної продуктивності рослини. Застосування добрив підвищувало масу рослин кукурудзи на 9,8–22,1 % порівняно з неудобреним варіантом [28, 42].

За результатами наших спостережень встановлено, що частка органів рослин кукурудзи у структурі врожаю залежала від гібриду, фази росту й розвитку рослин та застосування макро- та мікродобрив (табл. 4.1–4.6).

Таблиця 4.1

Структура врожаю рослин середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу молочної стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), г

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	Стебло	Листки	Обгортки і стрижень качана	Зерно	Ціла рослина
Амарос	Без добрив	1	167,8	151,5	132,8	324,7	776,9
		2	167,8	151,4	132,7	328,5	780,3
		3	169,0	153,3	132,8	330,9	785,9
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	193,0	174,9	153,3	380,6	901,8
		2	193,2	175,0	154,2	384,5	906,9
		3	198,0	175,1	154,0	389,6	916,6
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	221,1	195,4	174,8	437,1	1028,5
		2	223,2	198,2	175,2	446,4	1043,0
		3	225,5	199,3	176,2	447,9	1048,9
Богатир	Без добрив	1	178,6	163,9	144,3	328,6	815,3
		2	180,0	165,9	146,1	333,5	825,6
		3	181,5	167,4	147,4	336,4	832,7
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	205,9	188,0	164,5	381,7	940,2
		2	207,8	188,7	167,7	388,9	953,1
		3	210,1	189,0	167,9	392,4	959,4
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	231,7	209,4	184,1	432,6	1057,8
		2	232,7	214,5	185,5	439,7	1072,5
		3	236,3	215,8	183,4	443,4	1078,8
NIP ₀₅ для А – 2,3, В – 3,4, С – 2,1, АВ – 4,5, АС – 3,5, ВС – 3,6, АВС – 4,3							

Структура врожаю рослин середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу молочної стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), г

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	Стебло	Листки	Обгортки і стрижень качана	Зерно	Ціла рослина
КВС 381	Без добрив	1	200,4	183,6	165,8	337,0	886,8
		2	203,8	185,8	167,7	344,4	901,7
		3	204,9	187,6	169,4	348,8	910,6
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	229,7	209,2	189,9	391,9	1020,7
		2	231,2	213,7	188,9	398,4	1032,2
		3	234,1	214,3	189,3	402,6	1040,3
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	256,1	232,1	210,4	444,8	1143,4
		2	256,9	235,1	206,5	448,5	1147,0
		3	256,1	234,2	211,1	452,3	1153,7
Каріфолс	Без добрив	1	208,3	192,0	173,9	331,5	905,7
		2	211,8	192,4	177,7	338,8	920,7
		3	213,1	195,5	176,9	340,9	926,4
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	236,6	216,8	200,2	383,9	1037,5
		2	242,0	216,8	202,0	391,5	1052,3
		3	243,0	215,4	205,8	396,8	1061,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	266,3	241,8	221,9	438,0	1168,0
		2	270,9	239,1	223,8	444,0	1177,8
		3	273,8	238,2	225,2	448,0	1185,2
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ для А – 2,3, В – 3,4, С – 2,1, АВ – 4,5, АС – 3,5, ВС – 3,6, АВС – 4,3							

Зміна структури рослин середньоранніх і середньостиглих гібридів кукурудзи відбувалася протягом усього періоду вегетації й досягала максимуму у фазу молочно-воскової стиглості зерна.

Так, у середньому в гібридах приріст маси рослин у фазу молочно-воскової стиглості зерна порівняно з молочною фазою зерна становив 11,2 %. У фазу воскової стиглості зерна відмічено зменшення маси рослин, у

середньому на основі дослідів на 2,7 %, порівняно з попереднім періодом обліків.

Таблиця 4.3

Структура врожаю рослин середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу молочно-воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), г

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	Стебло	Листки	Обгортки і стрижень качана	Зерно	Ціла рослина
Амарос	Без добрив	1	177,6	165,3	145,9	390,4	879,2
		2	178,4	165,2	146,6	393,1	883,4
		3	179,8	165,6	147,8	397,0	890,1
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	201,6	186,6	165,5	449,4	1003,2
		2	201,4	187,2	167,0	456,4	1012,0
		3	203,8	188,5	168,1	458,6	1019,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	226,2	208,1	185,5	511,3	1131,2
		2	230,2	208,5	186,7	520,0	1145,4
		3	230,3	211,9	186,6	522,8	1151,6
Богагир	Без добрив	1	189,2	178,2	157,1	394,0	918,5
		2	190,2	178,1	159,6	399,9	927,8
		3	191,9	179,7	160,1	404,4	936,1
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	214,1	200,6	177,6	452,3	1044,6
		2	215,6	200,8	180,7	459,7	1056,7
		3	217,1	202,2	181,9	462,8	1064,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	237,7	221,4	196,9	509,2	1165,3
		2	240,1	223,6	200,1	513,2	1177,0
		3	240,2	222,4	202,3	518,2	1183,1
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ для А – 2,5, В – 3,2, С – 2,4, АВ – 4,4, АС – 3,6, ВС – 3,4, АВС – 4,7							

При застосуванні макро- та мікродобрив встановлено зростання листостеблової маси кукурудзи, порівняно з варіантами без їх застосування. Так, при внесенні N₉₀P₆₀K₆₀ індивідуальна продуктивність рослин кукурудзи у фазу молочної стиглості зерна становила у середньоранніх і середньостиглих гібридів – 901,8–959,4 г і 1020,7–1061,0 г, у фазу молочно-воскової стиглості

зерна – 1003,2–1064,0 г і 1126,1–1165,2 г і воскової стиглості зерна – 986,1–1060,0 г і 1103,6–1144,6 г. У середньому це було на 12,9–15,8 % вище ніж на контрольному варіанті, без внесення макродобрих.

Таблиця 4.4

Структура врожаю рослин середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрих у фазу молочно-воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), г

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	Стебло	Листки	Обгортки і стрижень качана	Зерно	Ціла рослина
КВС 381	Без добрих	1	208,0	195,1	172,3	414,9	990,3
		2	211,1	197,0	173,9	423,2	1005,3
		3	212,9	196,7	176,4	427,9	1014,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	234,2	219,6	194,8	477,5	1126,1
		2	236,7	220,7	195,7	484,7	1137,8
		3	238,4	222,3	197,1	488,2	1146,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	258,7	241,2	214,9	534,8	1249,6
		2	258,2	240,7	215,6	539,0	1253,4
		3	258,4	239,5	218,0	544,5	1260,4
Каріфолс	Без добрих	1	216,0	201,8	180,6	410,7	1009,2
		2	218,2	204,9	182,3	418,9	1024,3
		3	219,4	205,0	183,4	422,3	1030,1
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	242,1	226,1	203,3	470,5	1142,0
		2	247,6	225,6	204,8	479,0	1157,0
		3	247,0	227,2	208,6	482,4	1165,2
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	266,7	247,6	224,8	530,8	1269,8
		2	268,8	248,4	225,3	537,7	1280,2
		3	270,5	247,3	226,7	543,5	1287,9
NIP ₀₅ для А – 2,5, В – 3,2, С – 2,4, АВ – 4,4, АС – 3,6, ВС – 3,4, АВС – 4,7							

При внесенні N₁₂₀P₉₀K₉₀ індивідуальна продуктивність рослин кукурудзи у середньоранніх і середньостиглих гібридів у фазу молочної стиглості зерна була в межах 1028,5–1078,8 г і 1020,7–1185,2 г, а у фазу молочно-воскової стиглості зерна – 1131,2–1183,1 г і 1249,6–1287,9 г і воскової стиглості зерна –

1123,4–1173,8 г і 1231,6–1260,8 г, що вище ніж на контрольних варіантах на 27,5–31,4 % і 25,1–30,7 %.

Таблиця 4.5

Структура врожаю рослин середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), г

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	Стебло	Листки	Обгортки і стрижень качана	Зерно	Ціла рослина
Амарос	Без добрив	1	161,0	151,4	140,2	412,8	865,4
		2	163,3	151,1	141,5	417,4	873,2
		3	162,2	152,5	142,0	419,9	876,7
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	182,4	170,6	159,7	473,3	986,1
		2	183,7	170,7	162,7	481,2	998,4
		3	186,2	172,1	163,1	485,1	1006,5
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	206,7	192,1	180,9	543,7	1123,4
		2	210,1	193,0	183,8	554,9	1141,8
		3	212,0	192,5	184,5	557,0	1146,0
Богатир	Без добрив	1	168,8	159,8	149,8	424,3	902,7
		2	170,0	161,8	150,8	431,5	914,2
		3	170,9	158,9	154,3	434,5	918,7
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	191,9	180,5	170,2	489,0	1031,6
		2	194,8	183,2	173,8	501,3	1053,1
		3	195,0	185,5	174,9	504,6	1060,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	213,2	198,2	189,0	552,0	1152,4
		2	215,6	198,1	189,9	561,6	1165,2
		3	213,6	198,4	193,7	568,1	1173,8
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀ для А – 2,8, В – 3,6, С – 2,6, АВ – 4,2, АС – 3,2, ВС – 4,0, АВС – 4,5							

При використанні мікродобрив збільшення маси всієї рослини гібридів кукурудзи було не таким значним і становило 0,7–3,2 % залежно від фази стиглості зерна, порівняно з варіантами без їх застосування. Слід відмітити несуттєву різницю за досліджуваними показниками між застосуванням мікродобрив з обробкою насіння YaraVita Terposyn NP+Zn (5 л/т)+обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га) і обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т)+обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків

YaraVita Kombiphos (3 л/га). У багатьох випадках різниця між ними була недостовірною і знаходилася в межах похибки досліду.

Таблиця 4.6

Структура врожаю рослин середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрих у фазу воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), г

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	Стебло	Листки	Обгортки і стрижень качана	Зерно	Ціла рослина
КВС 381	Без добрив	1	186,3	175,6	164,9	448,8	975,6
		2	187,8	175,9	167,0	457,5	988,2
		3	189,5	173,7	167,7	461,4	992,3
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	209,7	195,3	185,4	513,2	1103,6
		2	211,3	194,5	190,1	522,1	1118,0
		3	213,8	196,9	189,0	525,4	1125,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	233,5	216,3	205,3	576,4	1231,6
		2	233,4	217,3	206,1	584,8	1241,7
		3	236,2	214,9	208,7	589,8	1249,5
Каріфолс	Без добрив	1	194,5	183,5	170,6	443,5	992,1
		2	195,8	185,8	171,7	450,9	1004,2
		3	197,9	184,7	172,6	454,3	1009,5
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	218,5	206,2	190,5	505,3	1120,4
		2	220,8	207,2	191,3	512,8	1132,1
		3	219,8	211,8	194,6	518,5	1144,6
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	241,0	226,1	211,2	564,0	1242,3
		2	242,0	229,5	210,7	571,8	1254,0
		3	243,3	229,5	210,6	577,4	1260,8
NIP ₀₅ для А – 2,8, В – 3,6, С – 2,6, АВ – 4,2, АС – 3,2, ВС – 4,0, АВС – 4,5							

Застосування макродобрива найбільше впливало на збільшення маси зерна, у середньому на 14,7–35,9 %, порівняно з варіантами без їхнього внесення. При використанні мікродобрих збільшення склало 0,8–3,2 %. Приріст маси стебла від внесення макродобрив становив 11,2–33,5 %, мікродобрив – 0,6–2,8 %.

Найменший вплив макро- та мікродобрив відмічено на формування маси листків і обгорток та стрижнів качана – 10,7–25,3 % і 0,4–2,4 %.

Найкращим виявився варіант із вирощуванням середньостиглого гібрида Каріфолс на фоні внесення $N_{120}P_{90}K_{90}$ й обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т)+обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га), що забезпечило максимальні показники маси рослин кукурудзи та структурних елементів врожаю. У гібриду Амарос показники індивідуальної продуктивності рослин були найменшими на варіанті без макро- та мікродобрив.

Внесення макро- та мікродобрив по-різному впливало на частку окремих органів рослин в індивідуальній продуктивності гібридів кукурудзи. Так, частка обгорток і стрижня качана становила у гібридів обох груп стиглості 16,8–19,4 %, 16,2–17,9 % і 16,1–17,0 % відповідно у фазу молочної, молочно-воскової і воскової стиглості зерна (рис 4.1, Додаток В.1–В.2). Цей показник не суттєво змінювався залежно від застосування макро- та мікродобрив.

Частка листків була найбільшою у фазу молочної стиглості зерна й становила в середньоранніх гібридів 19,0–20,1 %, а у середньостиглих – 20,3–21,2 %. У фазу молочно-воскової стиглості зерна їхня частка становила 18,2–19,4 % і 19,0–20,1 %, а у фазу воскової стиглості зерна – 16,8–17,5 % і 17,2–18,5 % відповідно у середньоранніх і середньостиглих гібридів. Відмічено зменшення частки листків у загальній масі рослини під впливом макродобрив на 0,3–0,8 %, а від застосування мікродобрив на 0,1–0,3 %.

Частка стебла мала максимальні значення у фазу молочної стиглості зерна, а далі поступово зменшувалася завдяки появі качанів. На цей період частка стебла в середньоранніх і середньостиглих гібридів за варіантами досліді коливається в межах 21,3–21,9 % і 22,2–23,1 %. У фазі молочно-воскової стиглості зерна частка стебла становить 19,9–20,6 % і 20,5–21,4 %, тоді як у восковій стиглості зерна частка стебла ще більше зменшується порівняно з попередньою фазою і складає 18,2–18,7 % і 18,8–19,6 %. Тобто під кінець вегетації нівелюється різниця за цим показником між гібридами

кукурудзи. Спостерігається тенденцію до зменшення частки стебла у загальній масі рослини під впливом макро- та мікродобрів.



Варіанти досліджу: 1. Без застосування мікродобрів; 2. Обробка насіння YaraVita Terosyn NP+Zn (5 л/т)+ обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га); 3. Обробка насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т)+ обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га)

Рис. 4.1. Частка стебла, листків, зерна, обгорток і стрижнів качана в гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрів у фазу воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), % на суху речовину

З появою качанів їх частка у структурі рослини зростає так само, як і частка зерна від молочної до воскової фази, у середньому на 7,2 %.

Використання макро добрив разом із передпосівною обробкою насіння та позакореневим підживленням мікроелементами позитивно впливає на збільшення маси та частки зерна в структурі рослин кукурудзи.

Досліджувані фактори по-різному впливали на формування елементів структури врожаю гібридів кукурудзи (рис. 4.2).

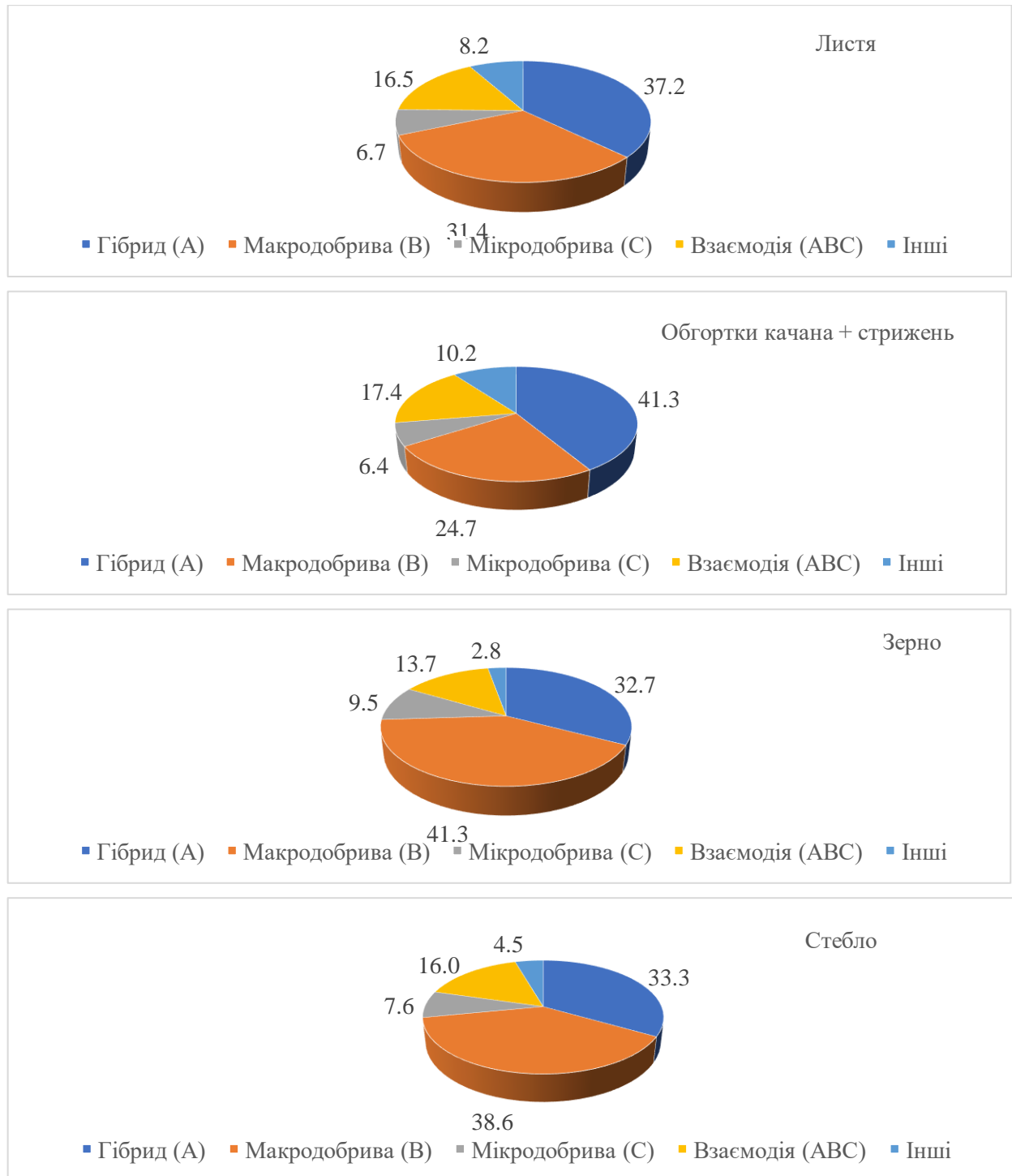


Рис. 4.2. Частка впливу досліджуваних факторів на формування елементів структури врожаю рослин кукурудзи

Найбільшу частку зерна відмічено на варіантах із внесенням $N_{120}P_{90}K_{90}$, яка становила у фазу воскової стиглості зерна у гібрида Амарос – 47,7–48,6 %, Богатир – 47,0–48,4 %, КВС 381 – 46,0–47,2 % і Каріфолс – 44,7–45,8 %. При внесенні $N_{90}P_{60}K_{60}$ частка зерна збільшувалася в середньому в гібридах на 0,3–0,6 %, а при використанні $N_{120}P_{90}K_{90}$ – 0,6–1,2 %, порівняно з контрольними варіантами. Від застосування мікродобрів частка зерна зростала на 0,1–0,3 %.

Застосування макродобрів найбільший вплив мало на формування стебла (38,6 %) і зерна (41,3 %) рослин кукурудзи а мікродобрів – на формування зерна (9,5 %). Ріст і розвиток листків та качанів залежить в основному від генотипових властивостей гібридів (37,2 і 41,3 %). Також на них суттєвий вплив мають інші фактори (8,2 і 10,2 %), в основному погодні умови.

4.2. Динаміка накопичення сухої речовини кукурудзи

Одним із показників, який характеризує діяльність фотосинтетичного апарату, є процес накопичення сухої речовини в надземних та підземних частинах рослини на одиницю площі поверхні ґрунту [33, 104]. Вміст сухої речовини в стеблах збільшується до початкових фаз дозрівання зерна, а в качанах – до повного дозрівання. Вміст сухої речовини у цілій рослині накопичується поступово зі збільшенням фази росту й розвитку. Найбільший добовий приріст сухих речовин відбувається у фазу «кінець цвітіння – молочно-воскова стиглість зерна». Тільки у фазу молочної і воскової стиглості накопичується до 85 % сухої маси зерна. Максимальний вміст сухої речовини в рослині 30–35 %, а найбільша урожайність зерна досягається при вмісті у ньому 60–64 % сухих речовин [146].

За результатами досліджень, проведених у Правобережному Лісостепу, на варіантах без внесення добрив, збір сухої речовини кукурудзи гібриду Моніка 350 МВ становив 9,3 т/га. Застосування добрив залежно від варіанту дослідження підвищувало збір сухої речовини на 42,9–82,7 %, порівняно з неудобренними ділянками [28].

За твердженням I. R. Vildflush та ін. [248], внесення мінеральних добрив дає можливість скоротити на 20–36 % витрати води на утворення сухої речовини рослин, адже на побудову органічних речовин рослини використовують близько 0,2 % поглинутої води, а 99 % вологи випаровується. За даними T. Amon та ін. [153], оптимальний період для збирання кукурудзи на силос настає тоді, коли добуток від питомої врожайності метану та врожайності сухої речовини з гектара досягає максимуму. Для гібридів FAO 240–390 найкращий час збирання настає в кінці воскової стиглості зерна. Тоді вміст сухої речовини кукурудзи становить 35–39 %.

Відповідно до результатів, отриманих М. Б. Грабовським та ін. [42], вміст сухої речовини в силосній масі кукурудзи на варіантах із внесенням добрив $N_{100}P_{80}K_{80}$ становив 27,3–28,8%, що на 1,7–5,4 % більше порівняно з варіантами без їх застосування.

За даними німецьких вчених, при вмісті сухої речовини в зразках кукурудзи більше 35 % питомий вихід метану знижується. Оптимальний вихід метану відмічено за вмісту сухої речовини 30–35 % [152].

Згідно з думкою E. N. Horst та ін. [188], у фазі воскової стиглості зерна вміст сухої речовини всіх компонентів рослин кукурудзи лінійно зростає із добовим збільшенням на 0,8, 5,3, 4,2 та 8,3 г/кг для листків, стебла, обгорток качана та зерна відповідно.

В умовах зрошення вміст сухої речовини в надземній масі кукурудзи у фазу молочної стиглості зерна становить 28–30%, воскової стиглості – 30–33%, а у фазу фізіологічної стиглості зерна – 42–45 % [80].

У наших дослідженнях, залежно від фази стиглості зерна, вміст сухої речовини в усій рослині кукурудзи на варіантах дослідів був у межах 31,5–39,9 %. У середньому на основі дослідів цей показник коливався від 33,1 % у фазу молочної стиглості зерна до 38,4 % у фазу воскової стиглості зерна (Додаток Г.1–Г.2, Д.1–Д.2, рис. 4.3).

Найменший вміст сухої речовини в стеблах – 23,0–23,6 %, а найвищий у зерні – 50,6–61,3 %. Збільшення FAO гібридів кукурудзи призводить до

збільшення частки сухої речовини в різних частинах рослини, більшою мірою в зерні, листках та качанах, меншою – у стеблах. Подібні дані отримані S. Schittenhelm [225], який вказує, що частка вегетативних частин рослин (листіків і стебла) та вміст сухої речовини в них значно зростають зі збільшенням групи стиглості гібрида.

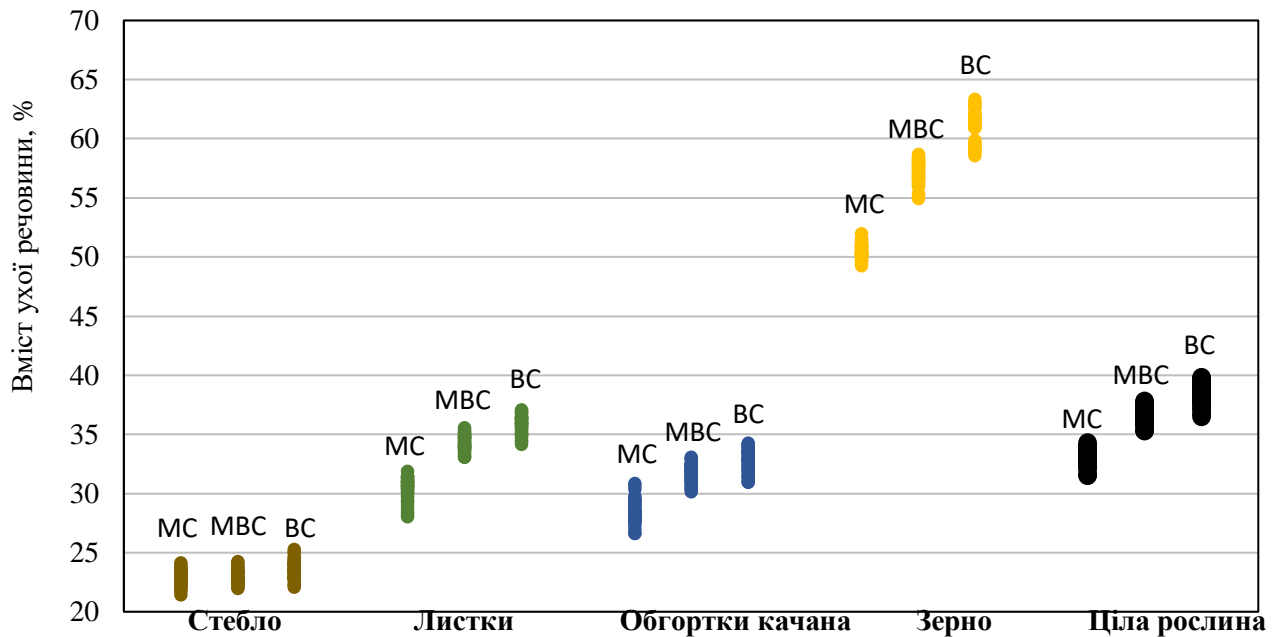


Рис. 4.3. Вміст сухої речовини в різних частинах рослини кукурудзи, % (МС – молочна стиглість зерна, МВС – молочно-воскова стиглість зерна, ВС – воскова стиглість зерна) (середнє за 2019–2021 рр.)

У фазу молочно-воскової стиглості зерна вміст сухої речовини в усій рослині зростав у середньому на 10,5 % (у діапазоні від 8,3 до 12,2 %) порівняно з молочною стиглістю зерна. У фазу воскової стиглості зерна вміст сухої речовини був вищим на 5 % (у діапазоні від 3,4 до 6,6 %) порівняно з молочно-восковою стиглістю зерна. Відповідно в останній період обліків спостерігалися найвищі показники вмісту сухої речовини, які становили у середньоранніх гібридів – 36,5–39,9 %, а середньостиглих – 37,8–39,4 % (табл. 4.7–4.8).

Вміст сухої речовини у зерні становив 58,6–63,4 % і 61,0–62,1 %, а у листках й обгортках і стрижнях качана – 34,2–36,8 і 35,0–37,1 % та 31,0–34,3 і 32,0–34,2 % відповідно у середньоранніх та середньостиглих гібридів. Найменші значення цього показника були в стеблі кукурудзи – 22,1–25,3 %.

Вміст сухої речовини в окремих частинах та рослинах середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), %

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	Стебло	Листки	Обгортки і стрижень качана	Зерно	У рослині
Амарос	Без добрив	1	23,4	35,4	31,8	59,7	37,6
		2	23,2	35,6	32,0	59,6	37,6
		3	23,5	35,2	32,2	59,9	37,7
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	22,8	34,8	31,4	59,4	37,1
		2	22,7	35,0	31,6	59,2	37,1
		3	23,0	35,0	31,5	59,4	37,2
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	22,4	34,4	31,0	58,9	36,7
		2	22,1	34,2	31,1	58,6	36,5
		3	22,3	34,5	31,0	59,0	36,7
Богатир	Без добрив	1	25,1	36,6	34,0	63,1	39,7
		2	25,3	36,8	34,3	63,0	39,9
		3	25,0	36,4	34,0	63,4	39,7
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	24,6	36,1	33,5	62,5	39,2
		2	24,3	36,0	33,6	62,8	39,2
		3	24,6	36,3	33,6	62,7	39,3
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	24,0	35,7	33,0	62,1	38,7
		2	23,8	35,7	33,4	62,0	38,7
		3	24,0	36,0	33,1	62,0	38,8
V, %			3,6	4,2	4,3	5,7	6,1

Наші результати співпадають з даними отриманими Я. Надь [101], який відмічає, що найбільша кількість сухої речовини накопичується в качанах порівняно з іншими частинами рослин кукурудзи, яка до моменту наливу та дозрівання зерна поступово збільшується. Найменше її міститься в листостебловій масі, що пов'язано з провідником вологи – стеблом. Зважаючи на це, в зерні кукурудзи знаходиться в підсумку у 1,9–2 рази більше сухої речовини, ніж у листостебловій масі.

Під впливом N₉₀P₆₀K₆₀ вміст сухої речовини в рослинах зменшувався на 0,3–0,9% та на 1,0–1,3% при використанні N₁₂₀P₉₀K₉₀ порівняно з

контрольними варіантами. Застосування мікродобрих не впливало на вміст сухої речовини, відмічено лише тенденцію до зростання цього показника на варіантах з обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) й обприскуванням кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га).

Таблиця 4.8

Вміст сухої речовини в окремих частинах та у рослинах середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрих у фазу воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), %

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	Стебло	Листки	Обгортки і стрижень качана	Зерно	У рослині
КВС 381	Без добрив	1	24,0	37,0	33,9	62,0	39,2
		2	24,3	37,1	34,2	62,1	39,4
		3	24,0	37,0	34,2	62,1	39,3
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	23,5	36,5	33,5	61,7	38,8
		2	23,7	36,4	33,6	61,5	38,8
		3	23,5	36,8	33,5	61,7	38,9
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	23,0	36,0	33,0	61,0	38,3
		2	22,9	36,3	32,9	61,0	38,3
		3	23,3	36,0	32,8	61,5	38,4
Каріфолс	Без добрив	1	24,1	36,5	32,9	61,6	38,8
		2	24,4	36,2	33,3	61,9	39,0
		3	24,0	36,5	33,0	62,0	38,9
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	23,5	35,7	32,5	61,4	38,3
		2	23,6	35,8	32,5	61,8	38,4
		3	23,6	36,0	32,8	61,5	38,5
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	22,9	35,1	32,0	61,0	37,8
		2	23,0	35,0	32,3	61,0	37,8
		3	23,0	35,4	32,4	61,1	38,0
V, %			3,6	4,2	4,3	5,7	6,1

Спостерігались індивідуальні особливості накопичення сухої речовини залежно від генотипів кукурудзи. Так, у середньоранніх гібридів Амарос і Богатир середній вміст сухої речовини в зерні становив 61 %, листках – 35,5 %, стеблі – 23,7 %, обгортках та стрижнях качана – 32,6 %, а в середньостиглих гібридів КВС 381 і Каріфолс – 61,6, 36,2, 23,6 і 33,1 % відповідно. При цьому суттєвої різниці між двома групами гібридів різної стиглості за вмістом сухої речовини у всій рослині не відмічено. У середньому за результатами дослідження максимальним вмістом сухої речовини представлений гібрид Богатир – 39,2 %, а в гібридів Амарос, КВС 381 і Каріфолс цей показник становить 37,1, 38,8 і 38,4 % відповідно (рис. 4.4).

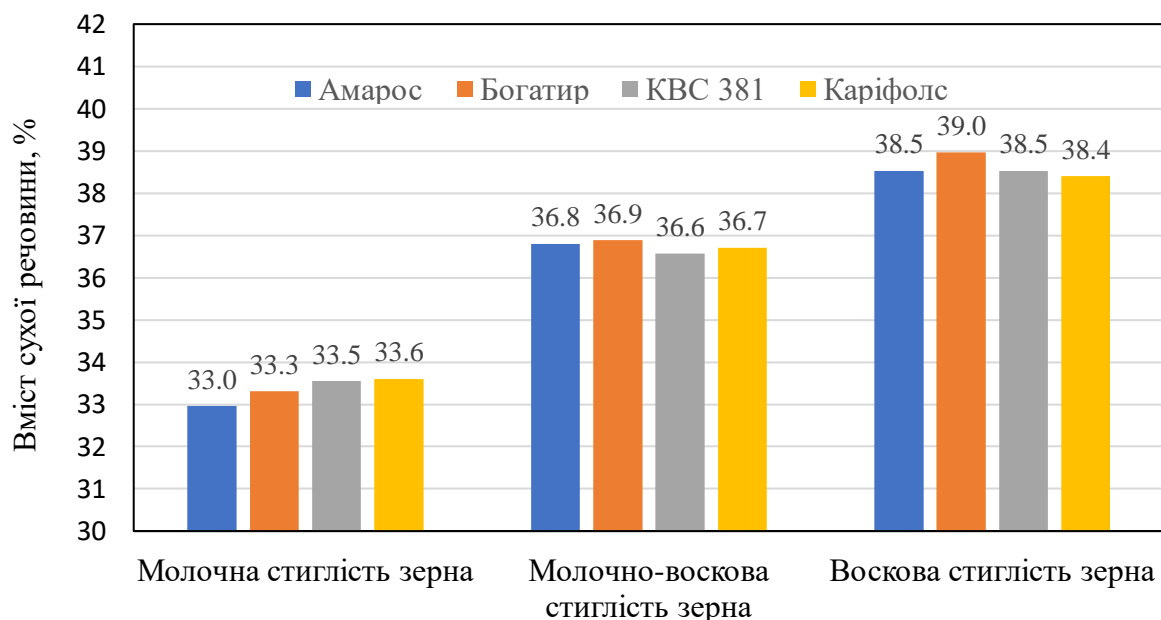


Рис. 4.4. *Вміст сухої речовини в гібридах кукурудзи залежно від фази стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), %*

Нами виявлено високий кореляційний зв'язок між вмістом сухої речовини в цілій рослині та в зерні ($r=0,94$), обгортках і стрижнях качана ($r=0,91$), стеблі ($r=0,88$) і листі ($r=0,87$). Вміст сухої речовини в листках середньо пов'язаний зі стеблом ($r=0,70$) та тісно пов'язаний із зерном ($r=0,82$). Виявлено високі зв'язки між вмістом сухої речовини в стеблі та зерні ($r=0,88$). Ці дані співпадають з результатами, отриманими І. П. Сатановською [125], згідно з якими у фазу воскової стиглості зерна вміст сухої речовини в листі середньо пов'язаний зі стеблом ($r=0,67$) та тісно пов'язаний порівняно з

рослиною ($r=0,76$). У стеблі порівняно з рослиною виявлені зв'язки середньої густоти ($r=0,64$).

У фазу молочної стиглості зерна у гібридів Амарос і Богатир у варіанті без добрив урожайність сухої речовини становила 11,1–12,1 т/га, у фазу молочно-воскової стиглості зерна – 13,0–14,1 т/га, а у фазу воскової стиглості зерна – 12,6–13,9 т/га. У середньостиглих гібридів КВС 381 і Каріфолс – 12,7–13,0, 14,8–14,9, 14,6–14,5 т/га відповідно (табл. 4.9–4.10).

Таблиця 4.9

Динаміка зміни урожайності сухої маси середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив (середнє за 2019–2021 рр.), т/га

Гібрид (фактор А)	Дози добрив (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	Молочна стиглість зерна	Молочно-воскова стиглість зерна	Воскова стиглість зерна
Амарос	Без добрив	1	11,1	13,0	12,6
		2	11,4	13,4	12,9
		3	11,5	13,4	13,1
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	12,5	14,7	14,2
		2	12,7	14,8	14,4
		3	12,8	15,0	14,5
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	12,9	15,3	14,8
		2	13,2	15,6	15,0
		3	13,4	15,7	15,2
Богатир	Без добрив	1	12,1	14,1	13,9
		2	12,3	14,5	14,3
		3	12,4	14,6	14,3
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	13,7	16,2	15,9
		2	13,9	16,5	16,2
		3	14,1	16,6	16,3
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	14,0	16,5	16,1
		2	14,3	16,8	16,4
		3	14,4	17,0	16,6
NIP ₀₅ , т/га		А	0,6	0,6	0,8
		В	0,3	0,3	0,4
		С	0,2	0,2	0,1
		АВ	1,8	1,6	1,7
		АВС	2,3	2,0	2,4

При внесенні $N_{90}P_{60}K_{60}$ урожайність сухої речовини зростала в середньому в гібридах на 1,3–2,0 т/га або на 11,4–15,5 %, а $N_{120}P_{90}K_{90}$ – на 1,7–2,9 т/га або 12,8–17,0 % порівняно з варіантами без їхнього застосування.

Як свідчать Е. В. Çarpıcı та ін. [166] збільшення кількості азотних добрив підвищувало врожайність сухої речовини кукурудзи на силос із піковим значенням при внесенні 400 кг/га (фізичній масі).

Таблиця 4.10

Динаміка зміни урожайності сухої маси середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив (середнє за 2019–2021 рр.), т/га

Гібрид (фактор А)	Дози добрив (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	Молочна стиглість зерна	Молочно- воскова стиглість зерна	Воскова стиглість зерна
КВС 381	Без добрив	1	12,7	14,8	14,6
		2	12,9	15,0	15,0
		3	13,1	15,3	15,0
	$N_{90}P_{60}K_{60}$	1	14,0	16,2	16,1
		2	14,3	16,6	16,4
		3	14,3	16,7	16,6
	$N_{120}P_{90}K_{90}$	1	14,4	16,6	16,5
		2	14,5	16,9	16,7
		3	14,7	17,0	16,9
Каріфолс	Без добрив	1	13,0	14,9	14,5
		2	13,3	15,2	14,8
		3	13,2	15,2	14,9
	$N_{90}P_{60}K_{60}$	1	14,6	16,6	16,3
		2	14,7	16,9	16,6
		3	14,9	17,0	16,7
	$N_{120}P_{90}K_{90}$	1	15,0	17,3	16,9
		2	15,2	17,5	17,1
		3	15,4	17,7	17,3
NP_{05} , т/га		А	0,6	0,6	0,8
		В	0,3	0,3	0,4
		С	0,2	0,2	0,1
		АВ	1,8	1,6	1,7
		АВС	2,3	2,0	2,4

На варіантах без застосування мікродобрив у фазу молочної стиглості зерна урожайність сухої речовини становила в середньоранніх гібридів кукурудзи 11,1–14,0 т/га, а в середньостиглих – 12,7–15,0 т/га; у фазу молочно-воскової стиглості – 13,0–16,5 і 14,8–17,3 т/га; у фазу воскової стиглості зерна – 12,6–16,1 і 14,6–16,9 т/га. У варіантах з обробкою насіння YaraVita Terposyn NP+Zn (5 л/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га) в середньому в гібридах та періодах обліків урожайність сухої речовини зростала на 1,2–2,9 %, а при обробці насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) на 2,2–3,9 % порівняно з ділянками без їхнього застосування. При цьому достовірної різниці між 2 і 3 варіантами з використанням мікродобрив не виявлено.

Найвищу урожайність сухої маси отримано в гібриду Каріфолс у фазі молочно-воскової стиглості зерна за внесення $N_{120}P_{90}K_{90}$ та з обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскуванням кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) – 17,7 т/га.

У роки досліджень найвища урожайність сухої маси кукурудзи відмічена у 2020 р., найменша – у 2019 р. (Додатки Е.1–Е.6). У 2021 р. цей показник був меншим на 4,4–12,5 % порівняно з попереднім роком. Серед досліджуваних факторів найбільший вплив на урожайність сухої маси мали застосування макродобрив (40,6 %) (рис. 4.5).

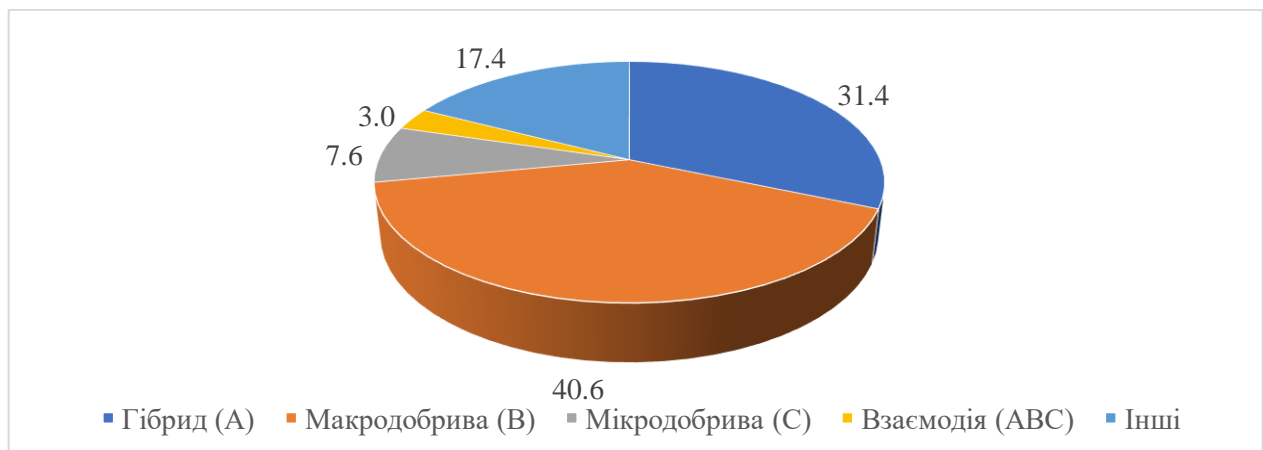


Рис. 4.5. Частка впливу факторів на урожайність сухої маси кукурудзи, %

Вплив генотипових особливостей був на рівні 31,4 %, а мікродобрив – 7,6 %. Досить суттєвим став вплив інших факторів (17,4 %), домінуючу роль серед яких відіграли погодні умови.

4.3. Урожайність зеленої маси кукурудзи

Важливим чинником інтенсифікації вирощування кукурудзи є збалансоване мінеральне живлення, що базується на раціональному використанні добрив. Без них продуктивність рослин різко знижується і їх правильне застосування підвищує стійкість рослин до низьких температур, збільшує частку качанів у врожаї зеленої маси, збільшує вихід сухої речовини з площі посіву [29, 37, 141].

Враховуючи нинішню високу вартість мінеральних добрив, оптимізована система удобрення кукурудзи повинна базуватися на основі внесення помірних доз. У нинішніх умовах система удобрення повинна бути динамічною і враховувати не тільки біологічні особливості сучасних гібридів та їх генетичний потенціал, а також ще й соціально-економічні умови [60]. При вирощуванні культур для біоенергетичних цілей використання мінеральних добрив є ключовим питанням для підвищення продуктивності та рентабельності цього виробництва [154].

В умовах Правобережного Лісостепу України застосування добрив забезпечило зростання зеленої маси рослин кукурудзи на 9,8–22,1 %, а сухої на 7,7–19,2 %, порівняно з неудобреним варіантом. Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{100}P_{80}K_{80}$ дозволяє отримати урожайність зеленої та сухої маси гібриду кукурудзи Моніка 350 МВ – 50,1 і 14,6 т/га, що вище на 18,8 і 5,1 т/га порівняно з контролем [37].

Рівень врожайності кукурудзи залежить не тільки від технології її вирощування, але й від погодних умов. Вплив метеорологічних умов найбільше проявляється за низької родючості ґрунтів [3]. У загальному реакція рослин на несприятливі метеорологічні умови під час онтогенезу значно варіює залежно від їхньої біологічної та генетичної специфіки [37, 43, 50].

Умови вегетаційного періоду 2020 р. були найбільш сприятливими для росту й розвитку рослин кукурудзи та відзначалися більш стабільним накопиченням суми активних температур та кількістю опадів, що дозволило одержати найвищу урожайність зеленої маси гібридів кукурудзи (Додаток Ж.3–Ж.4).

Метеорологічні умови 2019 р. характеризувалися високими температурами повітря та дефіцитом опадів в окремі міжфазні періоди, що вплинуло на динаміку урожайності зеленої маси гібридів кукурудзи (Додаток Ж.1–Ж.2).

У 2021 р. кліматичні умови в цілому також були сприятливі для росту й розвитку рослин, лише підвищені температури повітря в липні вплинули на деяке зменшення продуктивності кукурудзи (Додаток Ж.5–Ж.6).

Нами встановлено високу залежність урожайності зеленої маси від кількості опадів у роки досліджень (рис. 4.6).

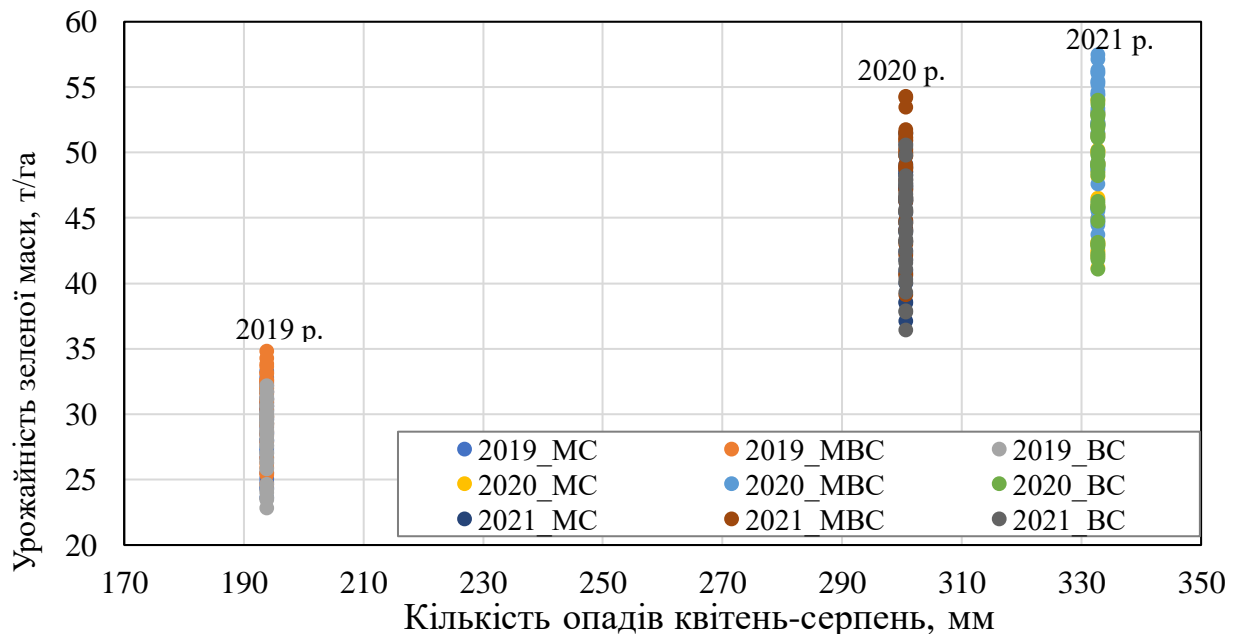


Рис. 4.6. *Залежність урожайності зеленої маси кукурудзи від кількості опадів у роки досліджень*

Так, у 2019 р. сума опадів за квітень-серпень становила 193,8 мм, а середня урожайність зеленої маси за результатами дослідження була 29,2 т/га. У 2020 р. вона становила 48,9 т/га (сума опадів 332,7 мм), а у 2021р. – 46,0 т/га

(сума опадів 300,6 мм). У роки досліджень урожайність зеленої маси коливалася в межах від 22,8 до 57,5 т/га.

Краще забезпечення вологою у 2021 р. призвело до збільшення урожайності зеленої маси кукурудзи на 50,6–67,3 %, а у 2020 р. на 50,6–80,1 % порівняно з 2019 р. (Додатки Ж.1–Ж.6, рис. 4.7). В основному цей приріст характерний для молочно-воскової та воскової стиглості зерна, що особливо помітно в найбільш вологозабезпеченому 2020 р.

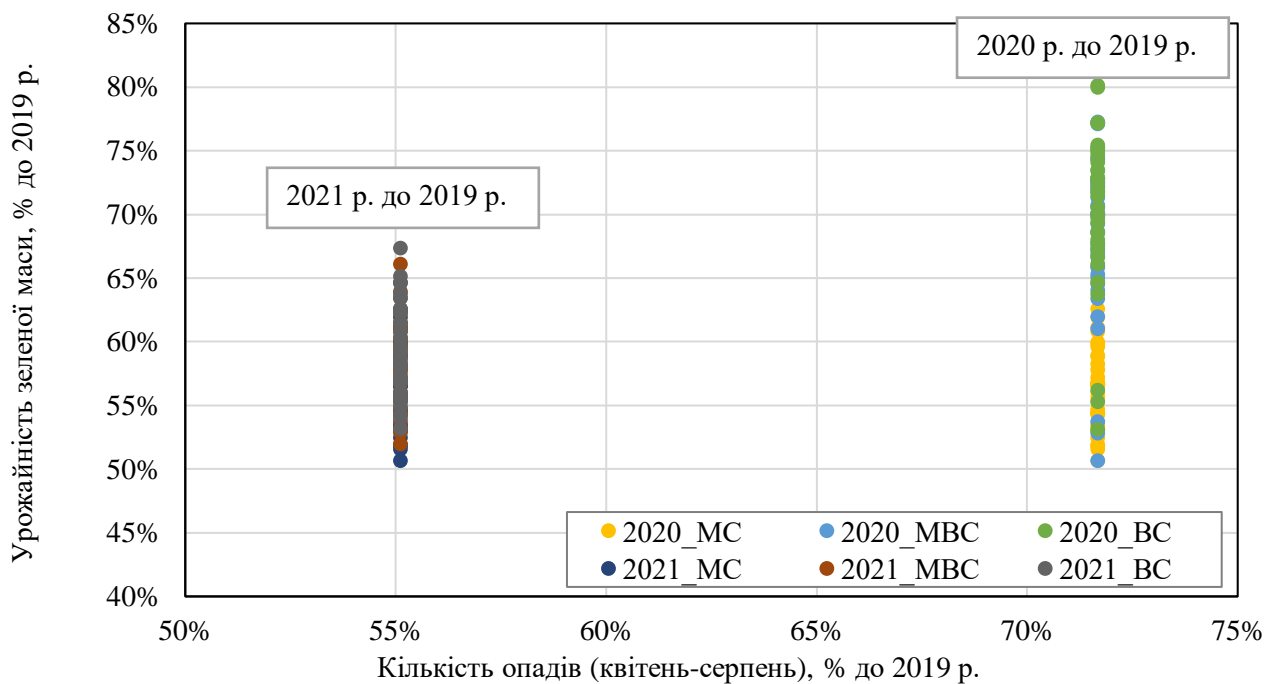


Рис. 4.7. *Зміна врожайності зеленої маси кукурудзи залежно від кількості опадів в роки досліджень*

Відповідно до результатів досліджень встановлено, що в середньому за середнє за 2019–2021 рр. формування врожайності зеленої маси середньоранніх і середньостиглих гібридів кукурудзи залежало від використання макро- та мікродобрих.

Найбільш інтенсивне наростання зеленої маси гібридів кукурудзи відбувалося до фази молочно-воскової стиглості зерна з наступним зменшенням на 5,2–6,8 % у фазу воскової стиглості. Так, у фазу молочної стиглості зерна урожайність зеленої маси середньоранніх гібридів становила 34,0–43,5 т/га, у фазу молочно-воскової стиглості – 35,8–45,9 т/га, а у фазу воскової стиглості зерна – 33,4–42,8 т/га. У середньостиглих гібридів ці

показники становили 37,8–46,3, 39,9–48,9 і 37,2–42,6 т/га відповідно (табл. 4.11–4.12).

Таблиця 4.11

Динаміка зміни урожайності зеленої маси середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив (середнє за 2019–2021 рр.), т/га

Гібрид (фактор А)	Дози добрив (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	Молочна стиглість зерна	Молочно- воскова стиглість зерна	Воскова стиглість зерна
Амарос	Без добрив	1	34,0	35,8	33,4
		2	35,0	36,9	34,4
		3	35,2	37,1	34,6
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	38,7	40,9	38,2
		2	39,4	41,5	38,8
		3	39,7	41,8	39,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	41,1	43,4	40,5
		2	41,8	44,2	41,2
		3	42,1	44,4	41,5
Богатир	Без добрив	1	35,6	37,5	35,0
		2	36,3	38,3	35,8
		3	36,6	38,6	36,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	41,1	43,4	40,5
		2	41,9	44,2	41,3
		3	42,1	44,5	41,5
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	42,4	44,7	41,7
		2	43,1	45,5	42,5
		3	43,5	45,9	42,8
НІР ₀₅		А	0,8	0,7	0,8
		В	2,1	2,3	2,0
		С	0,5	0,4	0,5
		АВ	2,8	3,1	3,0
		АВС	3,6	3,7	3,4

Урожайність зеленої маси кукурудзи у фазу воскової стиглості зерна знижується за рахунок переміщення асимілянтів із вегетативних органів у генеративні та зменшення частки стебла і листків в загальній структурі рослин.

Таблиця 4.12

Динаміка зміни урожайності зеленої маси середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив (середнє за 2019–2021 рр.), т/га

Гібрид (фактор А)	Дози добрив (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	Молочна стиглість зерна	Молочно- воскова стиглість зерна	Воскова стиглість зерна
КВС 381	Без добрив	1	37,8	39,9	37,2
		2	38,5	40,6	37,9
		3	38,8	41,0	38,2
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	42,1	44,4	41,4
		2	43,0	45,4	42,4
		3	43,3	45,7	42,6
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	43,8	46,1	43,0
		2	44,4	46,8	43,7
		3	44,7	47,1	44,0
Каріфолс	Без добрив	1	38,2	40,2	37,5
		2	38,7	40,8	38,1
		3	38,9	41,1	38,3
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	43,3	45,6	42,6
		2	43,8	46,3	43,2
		3	44,1	46,5	43,4
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	45,4	47,8	44,7
		2	46,0	48,5	45,3
		3	46,3	48,9	45,6
НІР ₀₅		А	0,8	0,7	0,8
		В	2,1	2,3	2,0
		С	0,5	0,4	0,5
		АВ	2,8	3,1	3,0
		АВС	3,6	3,7	3,4

Виявлено, що на урожайність зеленої маси кукурудзи досить суттєво впливали макродобрива. У фазу молочної, молочно-воскової та воскової стиглості зерна на контрольному варіанті у гібридів Амарос, Богатир, КВС 381

і Каріфолс вона становила 34,0–37,1, 35,6–38,6, 37,8–41,0 і 38,2–41,1 т/га, за внесення N₉₀P₆₀K₆₀ вона зростала в середньому на 11,4–15,7 %, а за N₁₂₀P₉₀K₉₀ – 15,8–21,0 % (рис. 4.8–4.10).

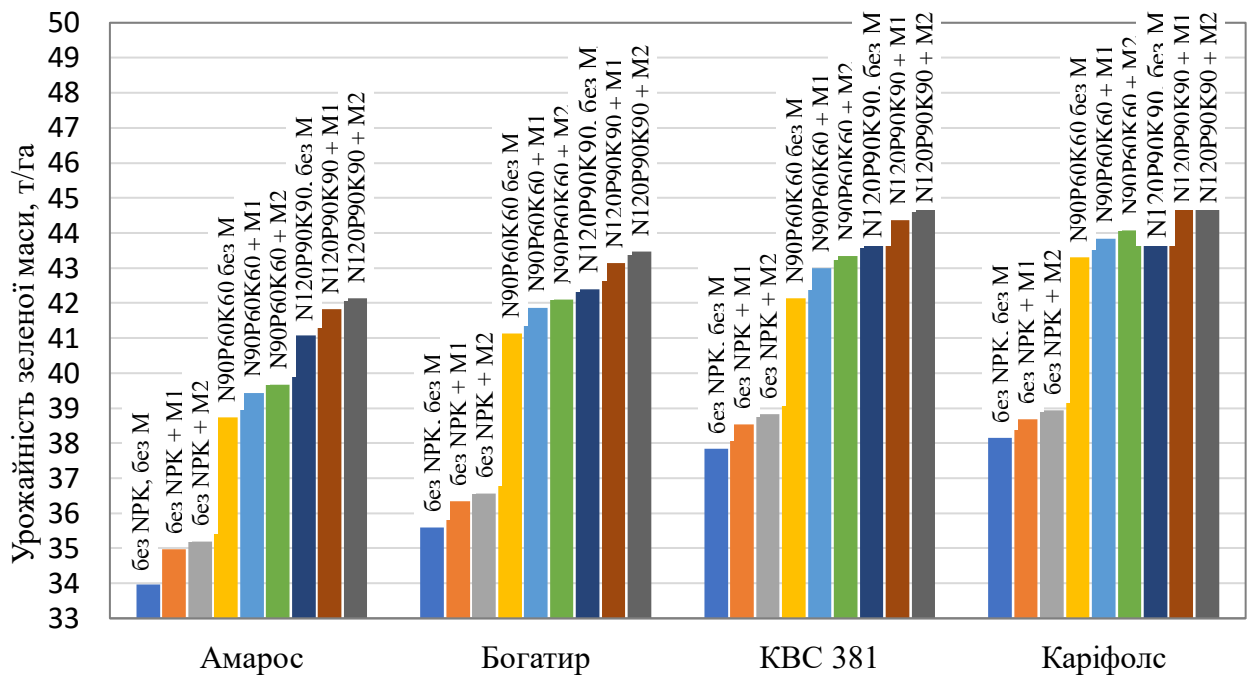


Рис. 4.8. Урожайність зеленої маси кукурудзи у фазу молочної стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), т/га (NPK – макродобрива, M – мікродобрива)

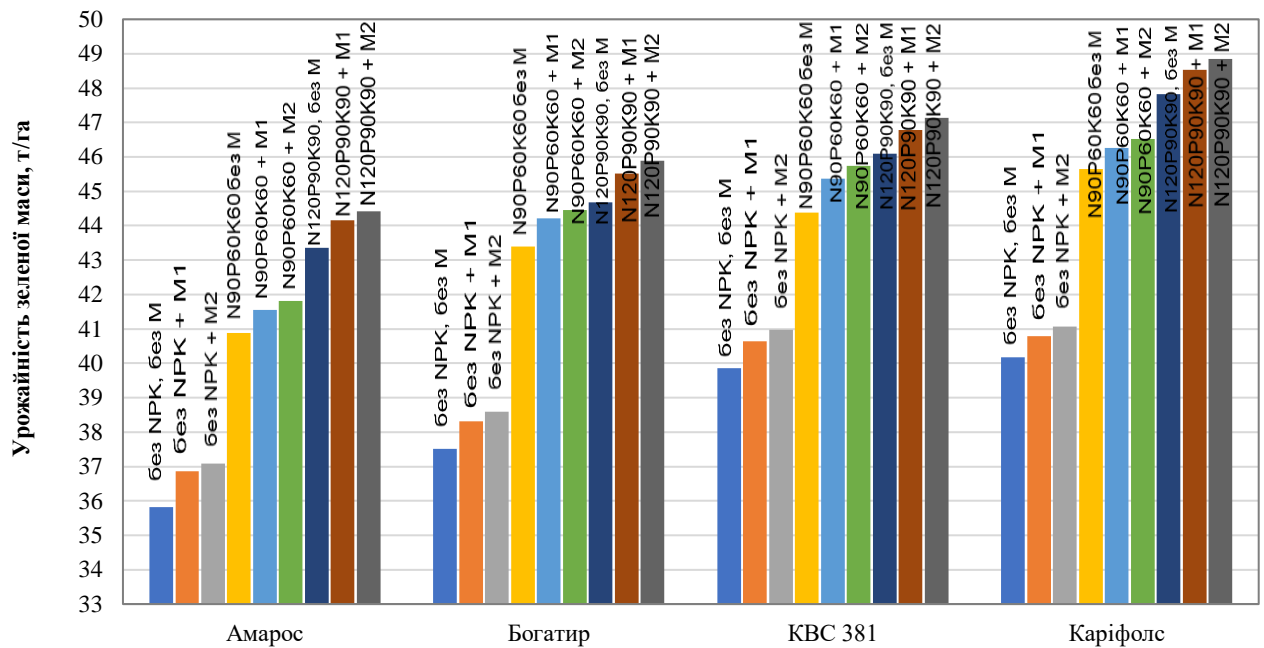


Рис. 4.9. Урожайність зеленої маси кукурудзи у фазу молочно-воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), т/га (NPK – макродобрива, M – мікродобрива)

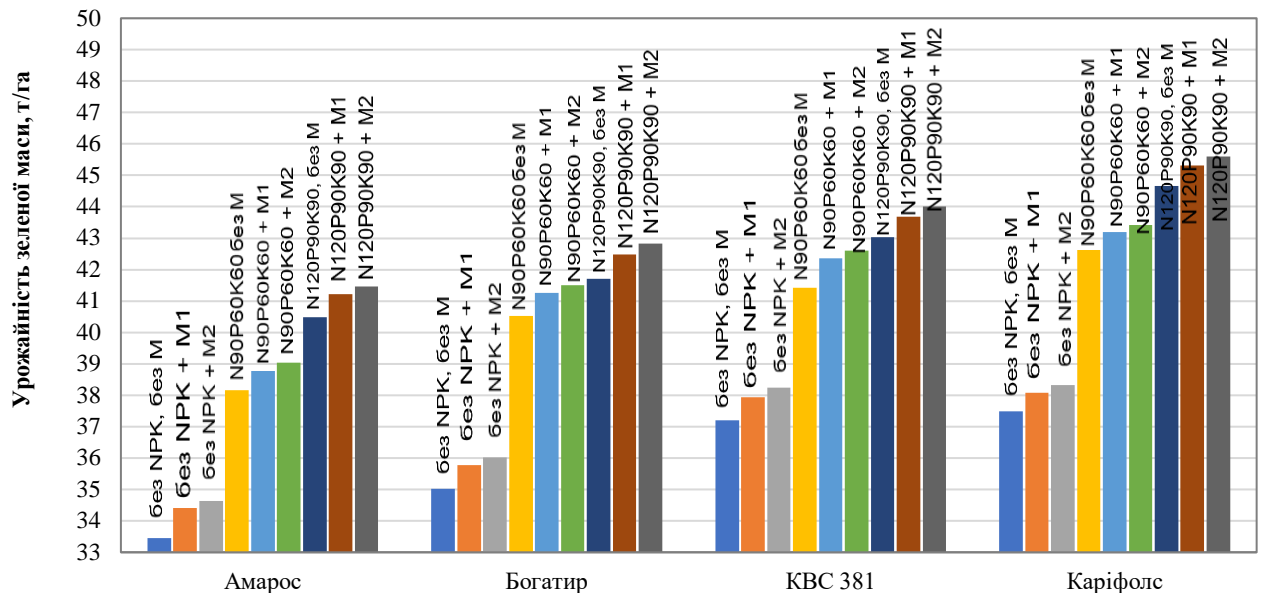


Рис. 4.10. Урожайність зеленої маси кукурудзи у фазу воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), т/га (NPK – макродобрива, M – мікродобрива)

Наші дослідження свідчать, що проведення передпосівної обробки насіння і листкове підживлення препаратами Yara також є ефективним засобом підвищення урожайності кукурудзи на силос. У середньоранніх гібридів у варіантах без застосування цих мікродобрив урожайність зеленої маси становила у фазу молочної стиглості зерна 34,0–42,4 т/га, у фазу молочно-воскової стиглості зерна – 35,8–44,7 т/га, у фазу воскової стиглості зерна – 33,4–41,7 т/га. У середньостиглих гібридів 37,8–43,8, 39,9–47,8 т/га і 37,2–44,7 т/га відповідно.

У варіантах з обробкою насіння YaraVita Terposyn NP+Zn (5 л/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га) урожайність зеленої маси залежно від гібриду зростала у відповідні періоди обліків на 1,2–3,8 %, 1,5–2,9 % і 1,3–3,2 %. При обробці насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) це збільшення становило 1,5–4,2 %, 2,3–3,5 % і 1,5–3,7 % відповідно. Необхідно відмітити відсутність достовірної статистичної різниці між 2 і 3 варіантами застосування мікродобрив у всіх досліджуваних гібридів, адже вона була в межах похибки досліду (НІР₀₅).

Найвищу урожайність зеленої маси забезпечив середньостиглий гібрид кукурудзи Каріфолс, найменшу – середньоранній гібрид Амарос. Різниця щодо врожайності гібридів кукурудзи коливалася в межах 3,1–12,3 % залежно від застосування макро- та мікродобрів. Найкращим варіантом виявилось внесення $N_{120}P_{90}K_{90}$ й обробка насіння кукурудзи YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) – 41,5, 42,8, 44,0 і 45,3 т/га відповідно у гібридів Амарос, Богатир, КВС 382 і Каріфолс.

На основі кореляційного аналізу встановлено високий рівень зв'язку між урожайністю зеленої маси гібридів кукурудзи і сумою температур та кількістю опадів у роки досліджень. Так, коефіцієнт кореляції між урожайністю зеленої маси та сумою температур становив: $r=0,88$ у фазу молочної стиглості зерна, $r=0,90$ у фазу молочно–воскової стиглості зерна та $r=0,85$ у фазу воскової стиглості зерна. Між урожайністю зеленої маси та сумою опадів показник кореляції становив $r=0,95$, $r=0,93$, $r=0,91$ у фазах стиглості зерна кукурудзи.

Кореляційні зв'язки залежать від умов вирощування і генотипових особливостей, тому необхідне вивчення цих зв'язків у конкретних умовах регіону. Кореляційний аналіз можна використовувати як для визначення закономірностей формування продуктивності кукурудзи, так і для оцінки біоенергетичного потенціалу цієї культури.

Між виходом біогазу й урожайністю зеленої та сухої маси встановлена висока кореляційна залежність ($r=0,92$ і $0,95$). Аналіз кореляційних зв'язків у гібридів кукурудзи дозволяє стверджувати, що урожайність зеленої маси зумовлена взаємодією комплексу показників, з яких найбільше значення мають такі елементи структури врожаю, як маса качана, маса рослини, маса стебла. Прояв кореляційних залежностей показав себе стабільним за роками. Встановлені кореляційні зв'язки між кількісними ознаками та продуктивністю і виходом біогазу забезпечують раціональний підбір гібридів кукурудзи для біоенергетичних цілей [106].

На урожайність зеленої маси кукурудзи найбільший вплив має внесення макродобрів (38,5 %), сортові особливості (28,5 %) і найменше – мікродобрива

(6,8 %).

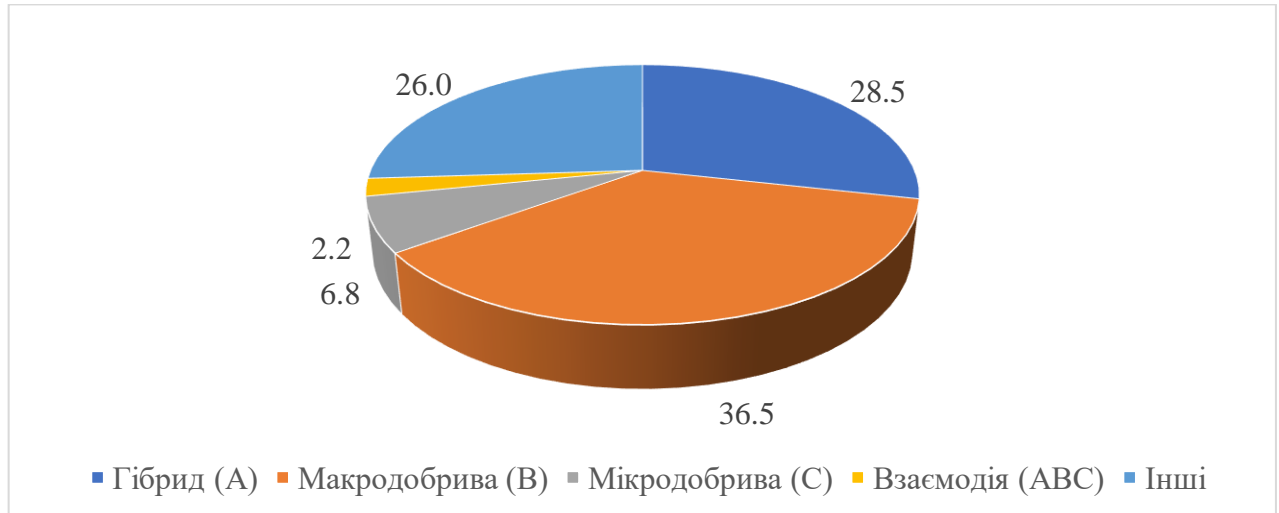


Рис. 4.11. *Частка впливу факторів на урожайність зеленої маси кукурудзи, %*

Порівняно з урожайністю сухої маси на продуктивність зеленої маси гібридів кукурудзи найбільший вплив мають погодні умови і інші фактори (26,0 %).

Висновки до розділу 4

1. Застосування макро- та мікродобрив ($N_{90}P_{60}K_{60}$ і $N_{120}P_{90}K_{90}$) призводить до збільшення маси всієї рослини кукурудзи на 12,7–30,8 %, а мікродобрив Yaga – на 0,7–2,8 % порівняно з варіантами без їхнього використання. Під впливом макро- та мікродобрив частка листків і стебел у загальній масі рослини зменшується на 0,3–0,8 %, а мікродобрив – на 0,1–0,3 %. Виявлено зростання на 0,3–1,2 % і 0,1–0,3 % частки зерна в загальній структурі рослин кукурудзи при застосуванні макро- та мікродобрив.

2. Застосування макро- та мікродобрив найбільший вплив мало на формування зерна (41,3 %) і стебла (38,6 %) рослин кукурудзи, а мікродобрив – зерна (9,5 %). Ріст і розвиток листків та качана залежить в основному від генотипових властивостей гібридів (37,2 і 41,3 %).

3. Залежно від фази стиглості зерна вміст сухої речовини в усій рослині кукурудзи у варіантах дослідів був у межах 31,5–39,9 %. Вміст сухої речовини у зерні становив 58,6–63,4 %, а в листках й обгортках качана – 34,8–37,1 % та

31,0–34,2 % відповідно. Найменші значення цього показника були в стеблі кукурудзи – 22,9–25,3 %. У середньому за результатами дослідів максимальним вмістом сухої речовини відзначався гібрид Богатир – 39,2 %, а у гібридів Амарос, КВС 381 і Каріфолс цей показник становив – 37,1, 38,8 і 38,4 % відповідно.

4. Під впливом макродобрих вміст сухої речовини як в окремих органах так і в рослинах кукурудзи зменшується на 0,3–1,3 % порівняно з контрольними варіантами. Застосування мікродобрих не впливало на вміст сухої речовини. Вміст сухої речовини в листках середньо пов'язаний зі стеблом ($r=0,70$) та тісно пов'язаний із зерном ($r=0,82$). У стеблі виявлено високі зв'язки з вмістом сухої речовини в зерні ($r=0,88$).

5. При внесенні $N_{90}P_{60}K_{60}$ урожайність сухої маси зростала на 1,3–2,0 т/га або на 11,4–15,5 %, а при $N_{120}P_{90}K_{90}$ – на 1,7–2,9 т/га або 12,8–17,0 % порівняно з варіантами без їхнього застосування. При використанні мікродобрих урожайність сухої речовини була вищою на 1,2–3,9 % за контрольні варіанти. При цьому достовірної різниці між 2 і 3 варіантами з мікродобривами не виявлено.

6. Встановлено високу залежність урожайності зеленої маси від кількості опадів у роки досліджень. Завдяки кращому вологозабезпеченню в 2021 р. урожайність зеленої маси кукурудзи була вищою на 50,6–67,3 %, а у 2020 р. на 50,6–80,1 % порівняно з 2019 р. Відповідно на продуктивність зеленої маси кукурудзи високий вплив мають погодні умови (26,0 %), внесення макродобрих (38,5 %), генотипові особливості (28,5 %), а найменше – мікродобрива (6,8 %).

7. Внесення макродобрих забезпечує збільшення урожайності зеленої маси на 11,4–21,0 %, а мікродобрих Yara – на 1,2–3,7 % порівняно з контрольними варіантами. Як і за урожайністю сухої маси була відсутня достовірна різниця між 2 і 3 варіантами з мікродобривами. Встановлено високий рівень зв'язку між урожайністю зеленої маси гібридів кукурудзи і сумою температур ($r=0,85–0,90$) та кількістю опадів ($r=0,91–0,91$).

8. Максимальні показники урожайності зеленої і сухої маси отримано у

фазу молочно-воскової стиглості зерна у гібриду Каріфолс на фоні внесення $N_{120}P_{90}K_{90}$ й обробці насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) – 48,9 і 17,7 т/га.

Основні положення дисертації викладені в наукових працях [32, 33, 105, 107, 108, 185].

РОЗДІЛ 5

ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ЗЕЛЕНОЇ МАСИ КУКУРУДЗИ ТА ВИХІД БІОГАЗУ І МЕТАНУ

5.1. Вплив досліджуваних факторів на зміну якісних показників зеленої маси кукурудзи

Склад і здатність до біологічного розкладання є важливими показниками субстратів рослинного та тваринного походження. Сирий протеїн, сирий жир, сира клітковина, целюлоза, геміцелюлоза, крохмаль і цукор помітно впливають на утворення метану [152].

Розроблено багато моделей, які передбачають вихід метану з використанням хімічних властивостей вихідної сировини. Лігнін вважається основним інгібітором утворення метану [244]. Найчастіше вміст лігніну згадується як фактор, який сильно пригнічує процес зброджування рослинних субстратів [170, 180, 205, 246].

Е. А. Tsavkelova і А. І. Netrusov [247], а також А. О. Wagner та ін. [250] повідомляють, що біодеградація рослинної сировини сильно залежить від вмісту лігніну, який погано розкладається в анаеробних умовах. V. Dandikas та ін. [170] виявили, що при вмісті лігніну нижче 10% від загальної кількості твердих речовин спостерігається суттєва негативна кореляція з виходом біогазу та метану ($r=0,90$).

Також зафіксовано негативну кореляцію між виходом біогазу та вмістом золи і протеїну в аналізованих рослинних зразках [247]. У дослідженнях S. Schittenhelm [234] концентрація золи мала тенденцію до підвищення у більш пізньостиглих гібридів кукурудзи, а вміст жиру у всіх гібридів збільшувався до кінця вегетації кукурудзи. Відмінності у вмісту жиру серед гібридів кукурудзи були більш вираженими на пізніх етапах розвитку. Рівень білка майже постійно знижувався від першої до останньої дати збору врожаю.

У наукових працях є інші дані про негативний вплив вмісту сирого протеїну на вихід біогазу [181]. Однією з причин цього може бути утворення в

результаті зброджування рослинних субстратів аміаку, який є інгібітором бродіння метану при занадто високій концентрації [250].

Гібриди кукурудзи, що використовуються як відновлювана біоенергетична сировина, повинні мати генетично обумовлений високий вміст крохмалю [40, 49].

Застосування добрив N_{300} і меншою мірою N_{200} зменшує вміст кислотнo-детергентної та нейтральної клітковини детергенту, але підвищує вміст сирого протеїну порівняно з неудообреними ділянками кукурудзи [201]. Також за даними L. Shynkaruk і V. Lykhochvor [239] збільшення норм внесення мінеральних добрив і проведення підживлень сприяло підвищенню вмісту в зерні кукурудзи протеїну і зниженню крохмалю та жиру.

Вміст метану в біогазі є менш залежним від хімічного складу субстрату, ніж вихід біогазу. Отже, вихід метану може бути високим навіть за його низького вмісту у біогазі [220].

Однак, за даними S. Schittenhelm [235], A. O. Wagner та ін. [250], а також A. Kowalczyk-Juško та ін. [198], теоретичний вихід метану та вміст метану в біогазі часто не підтверджуються емпіричними результатами через відмінності у засвоюваності та доступності окремих компонентів.

За результатами отриманих даних у середньому за дослідом вміст сирого протеїну в зразках кукурудзи становив 7,8–10,0 %, сирого жиру – 1,3–2,5 %, целюлози – 23,6–29,6, геміцелюлози – 24,5–32,4 % в перерахунку на суху речовину (рис. 5.1).

У рослинах середньостиглих гібридів кукурудзи КВС 381 та Каріфолс був вищим вміст крохмалю, сирого протеїну та жиру порівняно з середньоранніми Амарос і Богатир. Гібрид КВС 381 також характеризується найвищим вмістом целюлози 28,4–29,6 % (табл. 5.1–5.2).

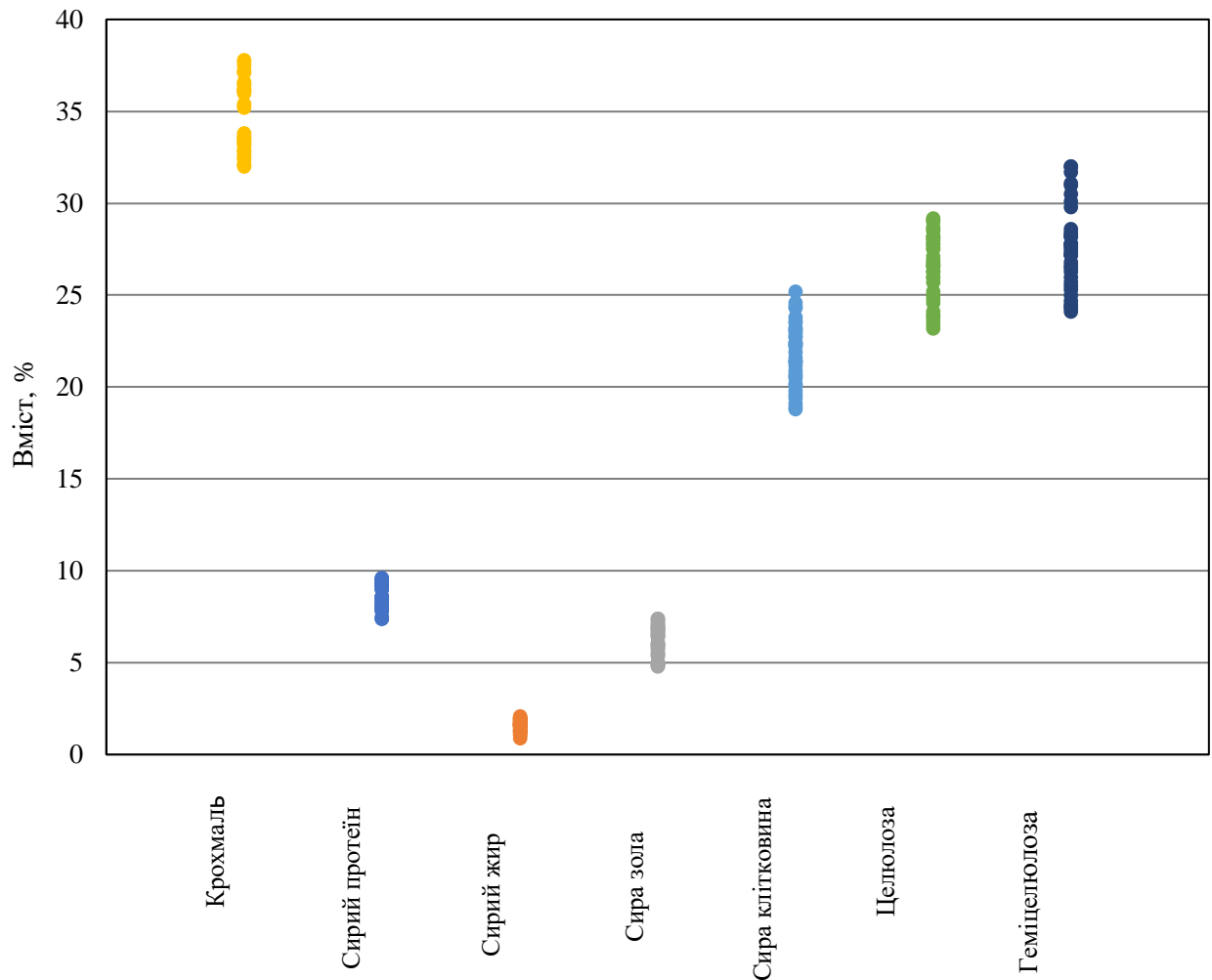


Рис. 5.1. *Хімічний склад зеленої маси кукурудзи*, (середнє по гібридах за 2019–2021 рр.), % на СР

Показники вмісту крохмалю в зеленій масі середньоранніх та середньостиглих гібридів кукурудзи варіювали в межах 32,4–34,2 % і 35,6–38,2 % відповідно та залежали в основному від генотипових особливостей досліджуваних форм.

Встановлено, що вміст сирого протеїну в зеленій масі кукурудзи середньоранніх гібридів Амарос і Богатир становив 7,8–9,0 %, а у середньостиглих КВС 381 і Каріфолс – 8,9–10,0 %. При застосуванні макродобрих вміст сирого протеїну збільшувався на 2,1–8,7 %, а мікродобрих на 0,6–1,8 %.

Хімічний склад зеленої маси середньоранніх гібридів кукурудзи у фазу воскової стиглості зерна (у середньому за 2019–2021 рр.), % на СР

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	Крохмаль	Сирий протеїн	Сирий жир	Сира зола	Сира клітковина	Целюлоза	Геміцелюлоза
Амарос	Без добрив	1	32,5	7,8	1,7	5,3	21,3	23,6	24,5
		2	32,4	7,8	1,6	5,2	21,0	23,8	25,1
		3	32,5	7,9	1,3	5,2	21,1	24,0	24,9
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	33,3	8,3	1,7	5,4	20,2	24,3	26,1
		2	33,2	8,2	1,5	5,3	20,0	24,2	25,7
		3	33,3	8,4	1,7	5,4	19,8	24,5	24,8
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	33,8	8,5	1,8	5,8	19,5	25,0	26,4
		2	33,9	8,6	1,5	5,8	19,2	25,2	25,4
		3	33,8	8,5	1,7	5,9	19,3	25,4	24,7
Богатир	Без добрив	1	32,9	8,3	1,9	6,8	25,6	26,7	30,2
		2	33,0	8,3	2,0	6,8	25,0	27,0	31,4
		3	32,8	8,5	2,0	7,0	24,8	27,0	30,9
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	33,6	8,7	2,1	7,0	23,9	27,1	32,1
		2	33,8	8,4	2,0	6,9	23,6	27,3	31,5
		3	33,6	8,7	2,0	7,2	23,5	27,5	32,4
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	34,0	9,0	2,2	7,3	22,8	27,9	28,7
		2	34,0	8,9	2,0	6,9	22,7	28,0	30,5
		3	34,2	9,0	2,0	7,2	22,6	28,2	32,4
НІР _{0,5}	A	0,3	0,3	0,2	0,5	0,7	0,8	1,6	
	B	0,4	0,2	0,1	0,2	0,8	0,4	1,5	
	C	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	
	AB	1,0	0,4	0,3	0,7	1,5	1,3	2,9	
	ABC	1,2	0,6	0,5	0,9	2,1	1,9	3,8	

Вміст сирого жиру в зеленій масі середньоранніх гібридів Амарос і Богатир становив 1,3–2,2 %, а в середньостиглих КВС 381 і Каріфолс – 1,9–2,5 %. Не відмічено впливу макро- та мікродобрив на зміну цього показника, а різниця між гібридами також була недостовірною (НІР_{0,5}=0,3).

Вміст сирі золи в гібрида Амарос становив 5,5 %, Богатир – 7,0 %, КВС 381 – 7,5 % і Каріфолс – 6,2 %. У цьому випадку чітко проявляється вплив

генотипових особливостей на формування аналізованого показника. Використання макро добрив забезпечили збільшення вмісту сирі золи на 1,3–4,9 %, а мікродобрива не мали суттєвого впливу на цей показник.

Таблиця 5.2

Хімічний склад зеленої маси середньостиглих гібридів кукурудзи у фазу воскової стиглості зерна (у середньому за 2019–2021 рр.), % на СР

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	Крохмаль	Сирий протеїн	Сирий жир	Сира зола	Сира клітковина	Целюлоза	Геміцелюлоза
КВС 381	Без добрив	1	35,7	8,9	2,1	7,5	24,7	28,4	27,2
		2	35,8	9,0	1,9	7,3	24,0	28,6	25,9
		3	35,6	9,0	2,0	7,2	24,2	28,6	28,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	36,5	9,4	2,2	7,4	23,6	28,9	27,0
		2	36,6	9,5	2,0	7,6	23,1	29,1	26,9
		3	36,6	9,4	2,2	7,7	23,4	29,0	27,6
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	36,9	9,5	2,2	7,4	22,3	29,5	28,2
		2	37,0	9,6	2,0	7,8	21,8	29,6	28,6
		3	36,9	9,7	2,1	7,8	21,6	29,4	27,8
Каріфолс	Без добрив	1	36,7	9,6	2,4	6,2	23,2	25,6	28,1
		2	36,5	9,6	2,1	6,0	22,8	26,1	27,6
		3	36,4	9,7	2,3	6,3	22,7	26,4	28,6
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	37,5	9,9	2,3	6,2	22,0	26,4	26,7
		2	37,6	9,8	2,1	6,4	21,8	26,7	28,2
		3	37,6	10,0	2,4	5,3	21,8	27,0	28,8
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	38,2	9,9	2,4	6,4	20,9	27,2	28,2
		2	37,9	10,0	2,3	6,5	20,6	28,2	27,6
		3	38,1	9,8	2,5	6,4	20,5	28,5	29,0
НІР _{0,5}		А	0,3	0,3	0,2	0,5	0,7	0,8	1,6
		В	0,4	0,2	0,1	0,2	0,8	0,4	1,5
		С	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3
		АВ	1,0	0,4	0,3	0,7	1,5	1,3	2,9
		АВС	1,2	0,6	0,5	0,9	2,1	1,9	3,8

Вміст сирі клітковини становив 19,2–25,6 % і 20,5–24,7 % відповідно у середньоранніх та середньостиглих гібридів. При використанні макро добрив вміст цього показника в зеленій масі рослин кукурудзи зменшився на 2,3–6,7 %, а мікродобрив – на 0,5–1,4 %.

Показники вмісту целюлози й геміцелюлози коливалися в середньоранніх гібридів від 23,6 до 28,2 % і від 24,5 до 32,4 %, а в середньостиглих – від 25,6 до 29,6 % та від 26,7 до 29,0 % відповідно. Застосування макро-і мікродобрих зумовило підвищення вмісту першого показника й зменшення другого в досліджуваних зразках кукурудзи, порівняно з контролем.

У середньому за результатами дослідження внесення макро- та мікродобрих призводило до відносного приросту вмісту крохмалю, сирого протеїну та целюлози у відношенні до варіантів без їхнього використання (рис. 5.2).

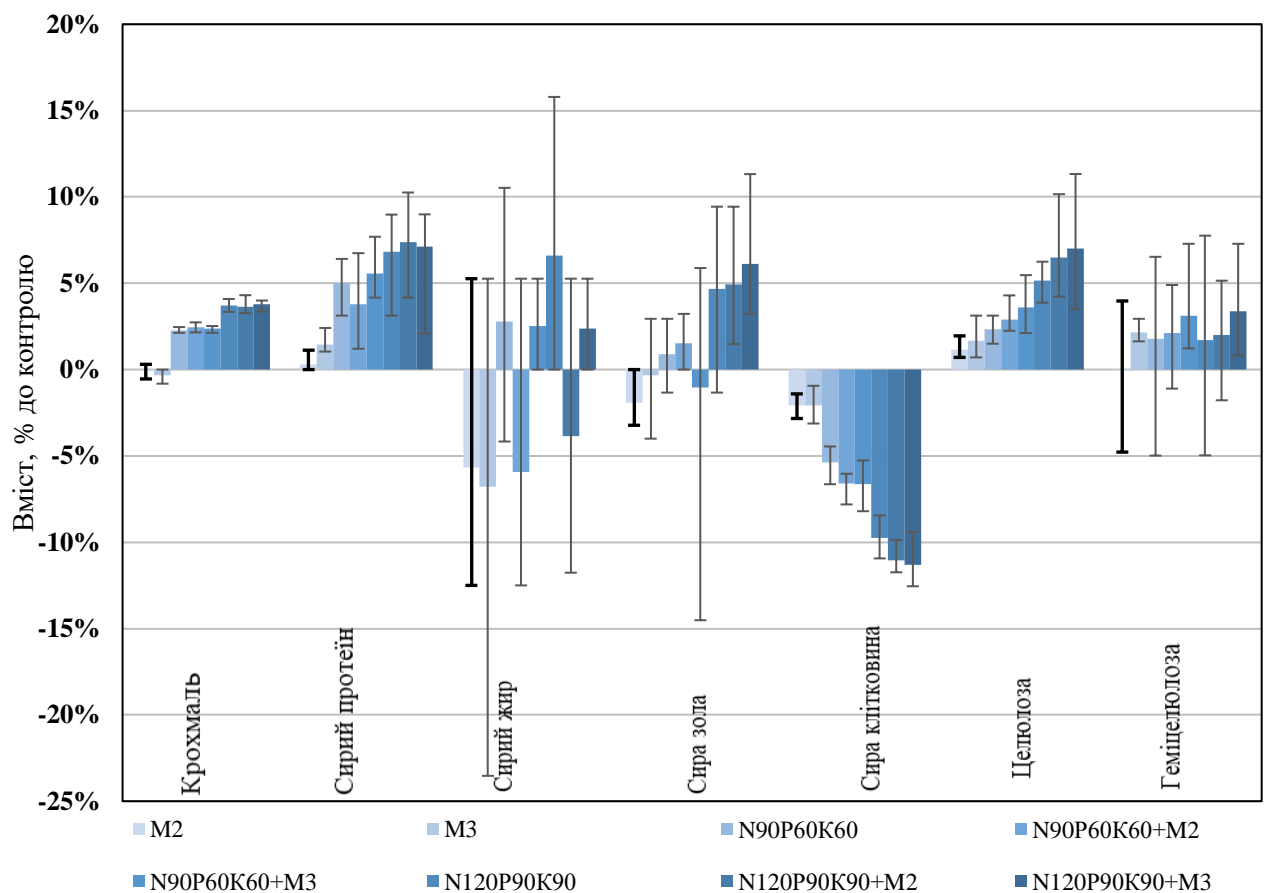


Рис. 5.2. Відносна різниця щодо вмісту речовин у зеленій масі кукурудзи порівняно з контрольним варіантом (без макро- і мікроелементів) (середнє по гібридах за середнє за 2019–2021 рр.), % (M2 – варіант з обробкою насіння YaraVita Terrosyn NP+Zn (5 л/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га); M3 – варіант з обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га))

При цьому вищі значення зазначених показників відповідають отримані за максимальної дози макроудобрив ($N_{120}P_{90}K_{90}$). У випадку целюлози, середнє її значення збільшується як зі зростанням дози мікроудобрив, так і при застосуванні мікроудобрив. Внесення $N_{120}P_{90}K_{90}$ в поєднанні з обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail та обприскуванням рослин кукурудзи YaraVita Kombiphos забезпечило найбільше зростання вмісту целюлози (до 7 %) в середньому на досліді.

Одночасно із зростанням вмісту целюлози спостерігається практично пропорційне зниження вмісту клітковини під впливом макро- та мікроудобрив. Помітним також є підвищення зольності на варіантах із застосуванням макроудобрив. В інших показниках впливу макроудобрив та мікроудобрив на їхній вміст у зеленій масі кукурудзи чіткої тенденції не спостерігалось.

Подібні дані отримані і І. П. Сатановською [123], яка відмічає, що комплексне застосування передпосівної обробки насіння разом із позакореневими підживленнями «Емістимом С» та «Еколистом багатоконпонентним» сприяли зменшенню вмісту сирової клітковини з 26,73 до 24,03 % у середньораннього гібрида кукурудзи та з 28,18 до 25,08 % у середньостиглого. Показники вмісту сирового жиру та сирового протеїну збільшувалися порівняно з контролем в обох гібридів кукурудзи, а вміст сирової золи підвищувався не суттєво.

У рослинному організмі як цілісній біологічній системі всі ознаки й властивості проявляються та змінюються в певних співвідношеннях і залежностях, які виражаються статистичними показниками – коефіцієнтами кореляції. Вивчення кореляційних залежностей дозволяє визначити ті ознаки, які можуть бути факторіальними і слугувати критеріями (маркерами) для доборів на продуктивність [4].

На основі кореляційного аналізу встановлено високий рівень зв'язку між урожайністю сухої маси і вмістом крохмалю ($r = 0,71$), сирового протеїну ($r = 0,78$) і жиру ($r = 0,69$) та целюлози ($r = 0,70$) (табл. 5.3). Зв'язок цього показника з вмістом сирової золи та геміцелюлози має помірний характер.

Кореляційні залежності між хімічним складом рослин кукурудзи та урожайністю сухої маси і розрахунковим виходом метану

Показники	Вміст, %						
	Крохмаль	Сирий протеїн	Сирий жир	Сира зола	Сира клітковина	Целюлоза	Геміцелюлоза
Урожайність сухої маси, т/га	0,71	0,78	0,69	0,55	0,20	0,70	0,62
Вихід метану, $\text{нм}^3/\text{т СОР}$	0,86	0,93	0,95	0,57	0,31	0,66	0,58

Вихід метану має високий взаємозв'язок із вмістом крохмалю ($r = 0,86$), сирого протеїну ($r = 0,93$) і жиру ($r = 0,95$) та середній із вмістом сирої золи ($r = 0,57$), целюлози ($r = 0,66$) та геміцелюлози ($r = 0,58$). Відмічений слабкий зв'язок між урожайністю сухої речовини, виходом метану та вмістом клітковини ($r = 0,20$ і $0,31$).

5.2. Розрахунковий вихід біогазу та метану з зеленої маси гібридів кукурудзи

Досліджень щодо впливу мінеральних добрив на енергоефективність виробництва біогазу з енергетичних культур дуже мало. Вони в основному показують вплив мінерального живлення на врожайність біомаси. Водночас встановлено, що диференційовані дози мінеральних добрив можуть впливати не лише на вихід біомаси, але й на її хімічний склад та біорозкладність, а отже, і на ефективність виробництва біогазу [181, 183].

Склад сухої органічної речовини кукурудзи залежить від ґрунтово-кліматичних умов вирощування, групи стиглості гібрида, технології вирощування, часу збирання та способу силосування кукурудзи [30, 153].

Підвищений рівень азотних добрив збільшує вихід біогазу завдяки позитивним змінам у її хімічному складі, передовсім через зниження вмісту

лігніну та покращення зброджування рослинних субстратів [203, 220]. На вихід метану з гектара також впливає гібрид кукурудзи та фаза збирання [32, 46, 107, 153, 183].

Кількість внесення азотних добрив суттєво здійснює вплив не лише на теоретичний максимальний вихід біогазу, але й на питому швидкість виробництва біогазу. Застосування найвищої дози азотних добрив (160 кг/га д.р.) сприяло незначному, але статистично достовірному збільшенню швидкості виробництва біогазу. Цей результат підтвердив позитивний вплив внесення азоту на процес розкладання біомаси в результаті метанового бродіння. У той же час підвищення рівня азотних добрив спричинило загальне зниження вмісту метану в біогазі для всіх досліджуваних енергетичних культур [194, 221].

За даними наших досліджень розрахунковий вихід біогазу у середньоранніх гібридів кукурудзи був у межах 9062,0–13716,3 м³/га та в середньостиглих – 11635,3–15589,5 м³/га, що на 1580,8–2945,3 м³/га більше (рис.5.3–5.4).

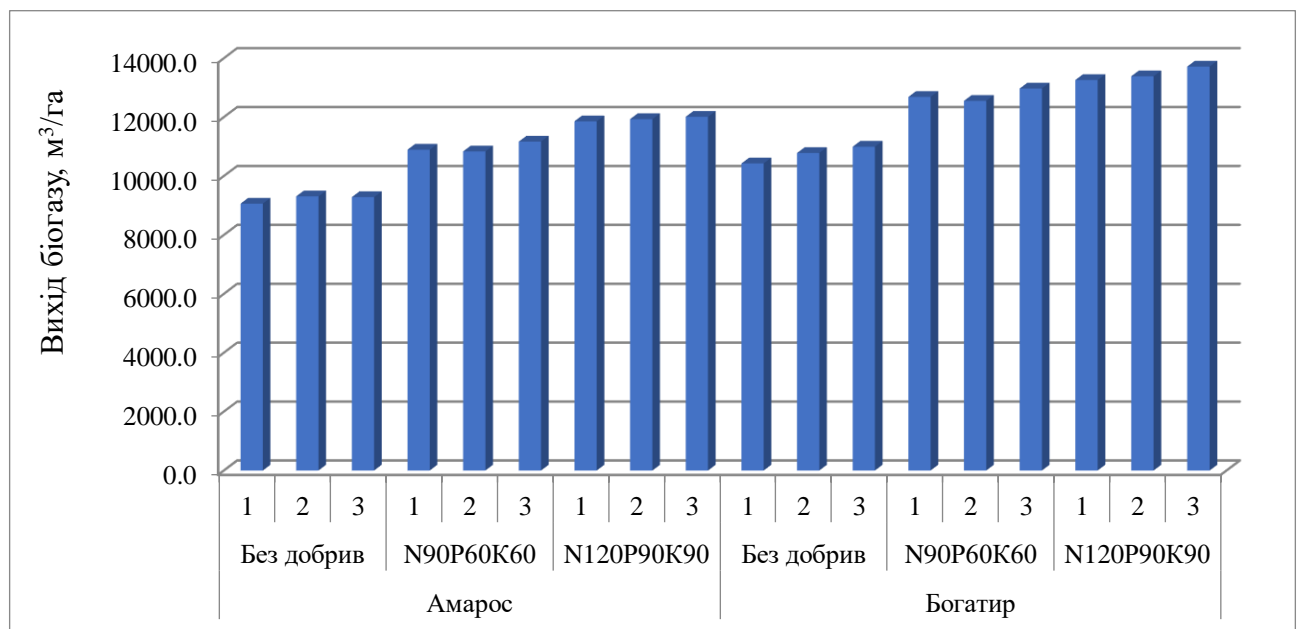


Рис. 5.3. Розрахунковий вихід біогазу у середньоранніх гібридів кукурудзи у фазу воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), м³/га

Серед гібридів, у середньому по досліді, вищими значеннями цього показника відзначалися середньостиглі КВС 381 (13334,6 м³/га) і Каріфолс

(14134,5 тис. м³/га). У середньоранніх гібридів Амарос і Богатир він становив 10705,3 і 12308,4 м³/га.

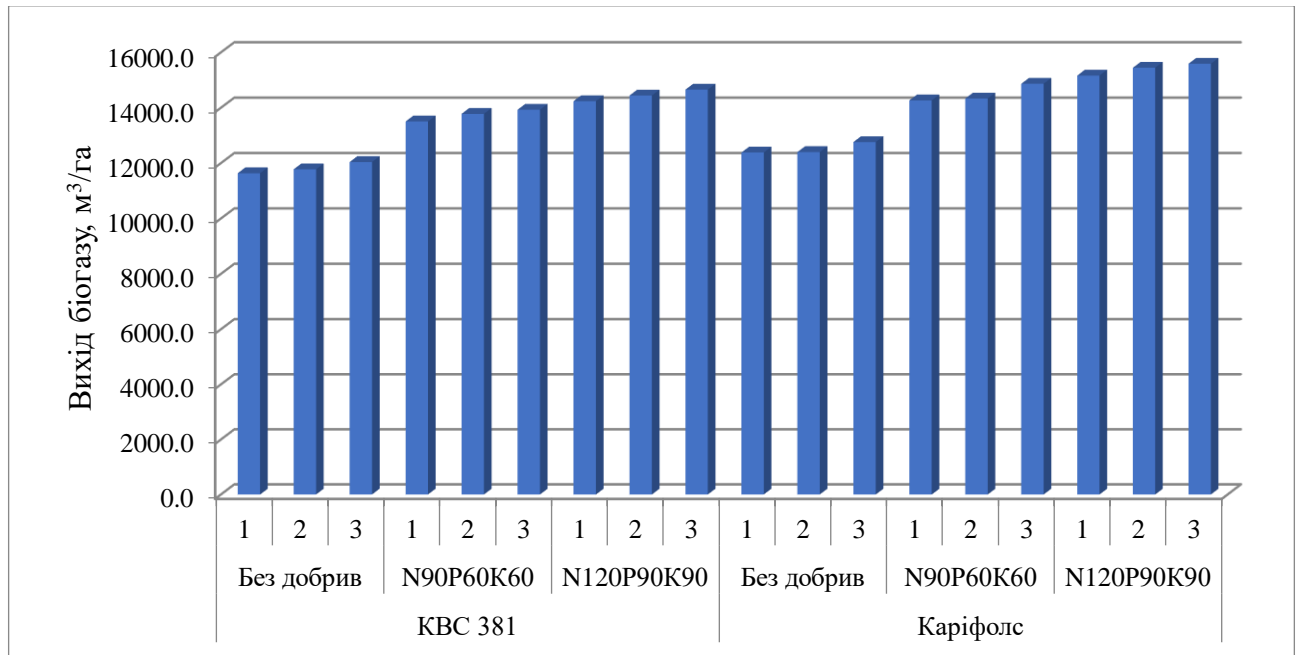


Рис. 5.4. *Розрахунковий вихід біогазу у середньостиглих гібридів кукурудзи у фазу воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), м³/га*

При застосуванні N₉₀P₆₀K₆₀ вихід біогазу зростав на 15,2–22,4 % а при внесенні N₁₂₀P₉₀K₉₀ на 21,7–30,9 % порівняно з варіантами без їх використання. Застосування мікродобрив забезпечило приріст виходу біогазу на 1,8–3,6 %. При цьому не зафіксовано суттєвої різниці між другим і третім варіантом із мікродобривами.

Наші результати збігаються з даними, отриманими М. Б. Грабовським та ін. [29], згідно з якими найвищі значення виходу біогазу отримані в гібридів Моніка 350 МВ і Бистриця 400 МВ у варіанті із застосуванням N₁₀₀P₈₀K₈₀ – 8,74 і 9,41 тис. м³/га, що вище ніж на контролі на 53,0 і 55,1 %. Вихід біогазу в середньораннього та ранньостиглого гібридів Білозірський 295 СВ і Товтрянський 188 СВ був на рівні 4,31–6,77 і 4,57–7,47 тис. м³/га, відповідно.

Загальний діапазон значень питомого виходу метану оціненого теоретичним шляхом на основі даних про вміст у зразках кукурудзи сухої речовини, сирого протеїну, сирого жиру, целюлози та геміцелюлози становив від

272,1 до 356,6 м³/т СОР, що в перерахунку на зелену масу кукурудзи складає 97,2–126,8 м³/т (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

Розрахунковий вихід метану у гібридів кукурудзи у фазу воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.)

Макродобрива	Мікродобрива	Питомий вихід метану	
		м ³ /т СОР	м ³ /т зеленої маси
Амарос			
Без добрив	1	279,9	99,6
	2	278,5	99,3
	3	272,1	97,2
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	293,4	103,0
	2	285,1	100,2
	3	293,4	103,3
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	301,7	104,2
	2	294,0	101,1
	3	296,8	102,5
Богатир			
Без добрив	1	310,2	114,8
	2	315,6	117,2
	3	318,5	117,6
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	327,3	119,3
	2	318,2	116,0
	3	325,8	118,8
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	331,5	118,9
	2	327,3	118,0
	3	332,8	119,7
КВС 381			
Без добрив	1	325,1	118,0
	2	319,6	116,8
	3	326,0	119,0
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	338,0	121,4
	2	334,5	119,9
	3	339,2	121,7
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	343,0	121,5
	2	340,2	120,1
	3	343,2	121,5
Каріфолс			
Без добрив	1	343,3	124,9
	2	335,0	122,7
	3	344,7	125,6
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	345,3	124,0
	2	340,9	122,6
	3	354,6	129,2
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	352,0	124,4
	2	352,0	124,5
	3	356,6	126,8

Питомий вихід метану з розрахунку на 1 га при урожайності 13,8–18,6 т СОР/га знаходився в межах 3860–6630 м³/га (рис. 5.5).

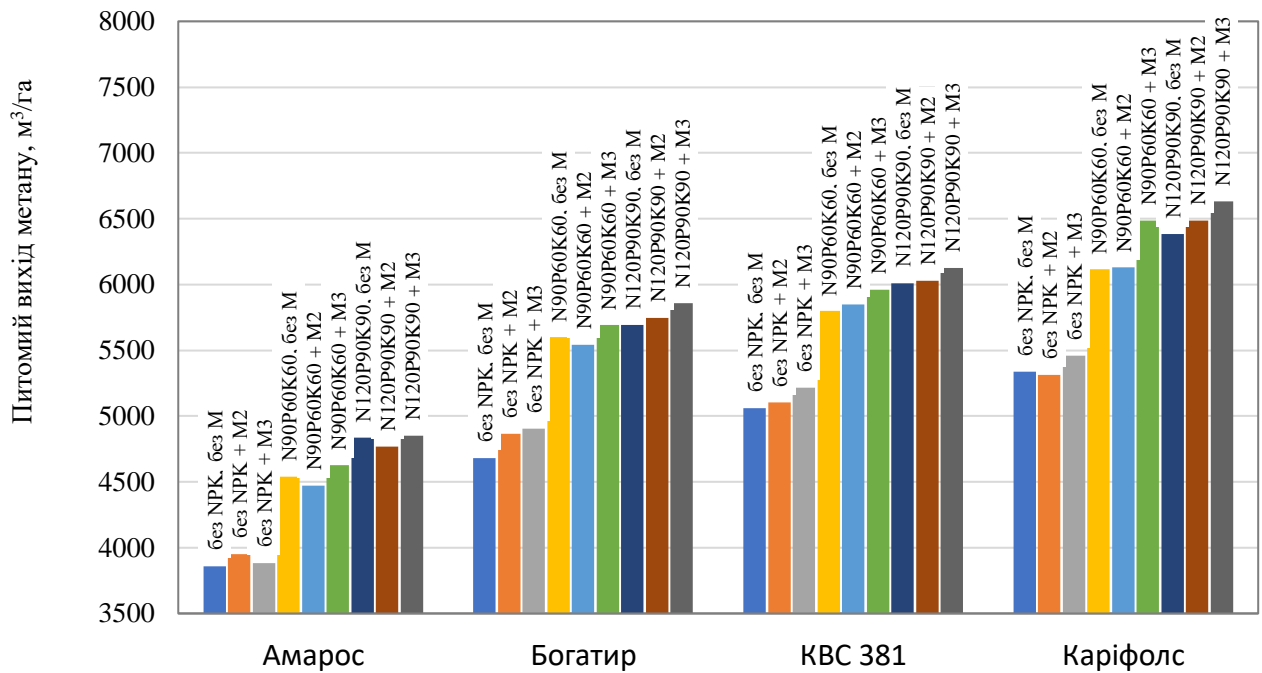


Рис. 5.5. *Питомий вихід метану у гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), м³/га*

(М – варіант без застосування мікродобрив; М2 – варіант з обробкою насіння YaraVita Terrosyn NP+Zn (5 л/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га); М3 – варіант з обробкою насіння YaraTera Tensio Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га))

Найвищий потенціал виходу метану отримано в гібриду кукурудзи Каріфолс – 5337,9–6629,5 м³/га, дещо менше в гібриду КВС 381 – 5062,0–6128,0 м³/га. У гібриду Богатир він становив 4681,0–5856,3 м³/га і найменший зафіксовано в гібриду Амарос – 3860,6–4849,1 м³/га. У варіантах із використанням макро- та мікродобрив гібрид Каріфолс мав на 36,6 % вищий потенціал виходу метану на 1 га порівняно з гібридом Амарос.

Це збігається з даними, отриманими Н. Oechsner та ін. [210], відповідно до яких відмічено послідовне підвищення виходу метану з гектара зі збільшенням групи стиглості гібридів кукурудзи. Найбільший індивідуальний вихід метану 9370 м³/га отримано в пізньостиглих гібридів. За результатами досліджень М. Oslaj [219], у групі гібридів кукурудзи ФАО 400–500

збільшується об'єм біометану. Найбільший приріст виходу біометану на гектар мають гібриди ФАО 400 (7768,4 нм³/га) та ФАО 500 (7050,1 нм³/га). Серед гібридів кукурудзи ФАО 300–400 найбільшу продуктивність біометану з гектара забезпечує гібрид PR38F70 (7646,2 нм³/га). Серед гібридів ФАО 400–500 найбільшу кількість біометану отримано в гібрида Піксія (9440,6 нм³/га). Серед гібридів ФАО 500–600 найбільший вихід метану був у Кодістара (ФАО 500) (8562,7 нм³/га). Виробництво біометану спостерігалось в межах від 50 до 60 % від отриманого біогазу.

Найбільш суттєвий приріст потенціалу виходу метану забезпечує внесення макро добрив. Так, використання N₉₀P₆₀K₆₀ дозволяє підвищити цей показник на 11,2–16,9 % порівняно з контрольними варіантами. При цьому збільшення дози добрив з N₉₀P₆₀K₆₀ до N₁₂₀P₉₀K₉₀ дозволяє додатково підвищити питомий вихід метану на 1,7–6,5 %.

Застосування мікродобрив за схемою обробка насіння YaraVita Terposyn NP+Zn (5 л/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га) несуттєво впливало на вихід метану. При цьому потенціал виходу метану у варіантах без макро добрив коливається в діапазоні від –0,4 до +4,0 %, а при внесенні N₉₀P₆₀K₆₀ – від –1,1 до +0,8 %, а у випадку N₁₂₀P₉₀K₉₀ – від –1,4 до +1,6%.

Більш ефективним для виробництва біометану може бути застосування мікродобрив з обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га), що дозволяє підвищити потенціал виходу метану на варіантах без макро добрив на 0,8–4,8 %, при внесенні N₉₀P₆₀K₆₀ – від 1,6 до 6,1 % а при застосуванні N₁₂₀P₉₀K₉₀ – від 0,2 до 3,9 %. Макродобрива більше впливають на потенціал виходу біогазу та метану ніж мікродобрива.

Висновки до розділу 5

1. Внесення макро- та мікродобрив призводить до зростання вмісту крохмалю, сирого протеїну та целюлози в рослинних зразках кукурудзи у

відношенню до варіантів без їхнього використання. Одночасно зі збільшенням вмісту цих показників спостерігається зниження вмісту клітковини під впливом макро- і мікродобрів. У середньостиглих гібридів кукурудзи КВС 381 та Каріфолс був вищим вміст крохмалю, сирого протеїну та жиру порівняно з середньоранніми Амарос і Богатир.

2. Встановлено високий рівень зв'язку між урожайністю сухої маси і вмістом крохмалю ($r = 0,71$), сирого протеїну ($r = 0,78$) і жиру ($r = 0,69$) та целюлози ($r = 0,70$). Вихід метану має високий взаємозв'язок із вмістом крохмалю ($r = 0,86$), сирого протеїну ($r = 0,93$) і жиру ($r = 0,95$) та середній із вмістом сирої золи ($r = 0,57$), целюлози ($r = 0,66$) та геміцелюлози ($r = 0,58$).

3. Розрахунковий вихід біогазу в середньоранніх гібридів кукурудзи був у межах 9062,0–13716,3 м³/га, а в середньостиглих – 11635,3–15589,5 м³/га. Серед гібридів, в середньому по досліді, вищими значеннями аналізованого показника відзначалися КВС 381 (13334,6 м³/га) і Каріфолс (14134,5 тис. м³/га).

4. Застосування макродобрів (N₉₀P₆₀K₆₀ і N₁₂₀P₉₀K₉₀) підвищувало вихід біогазу на 15,2–30,9 % відповідно, а мікродобрів – на 1,8–3,6 %, порівняно з варіантами без їхнього використання. Не відмічено суттєвої різниці між другим і третім варіантом із мікродобривами.

5. Питомий вихід метану становив від 272,1 до 356,6 нм³/т СОР, що в перерахунку на зелену масу кукурудзи становить 97,2–129,2 нм³/т. Найвищий розрахунковий вихід метану отримано в гібриду кукурудзи Каріфолс – 5337,9–6629,5 м³/га, у КВС 381 він становив 5062,0–6128,0 м³/га, у Богатир – 4681,0–5856,3 м³/га, в Амарос – 3860,6–4849,1 м³/га.

6. Макродобрива більше впливають на вихід біогазу та метану із зеленої маси кукурудзи, ніж мікродобрива. Так, застосування макродобрів дозволяє підвищити ці показники на 11,2–28,4 %, а мікродобрів – лише на 1,6–3,3 %, порівняно з варіантами без їхнього внесення.

Основні положення дисертації викладені в наукових працях [46, 106, 107, 185].

РОЗДІЛ 6

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ ЯК БІОЕНЕРГЕТИЧНОЇ КУЛЬТУРИ

6.1. Економічна ефективність

Останнім часом ціна на природний газ нестабільна в Європі. Так, у 2020 р. вона була в межах 133,2–177,9 євро/1000 м³. До кінця вересня 2021 р. газ подорожчав в кілька разів – до 982,1 євро/1000 м³. У жовтні та грудні 2021 р. газ у Європі трохи подешевшав, а з початку 2022 р. ціни знову зросли. Так, на кінець лютого 2022 р. вартість 1000 м³ газу становила 1095,8 євро, на кінець березня – 1320,7, в липні-серпні – понад 2188,0, вересні–листопаді – 1600,7 євро/1000 м³ [57].

Середньорічна ціна природного газу на біржі TTF у Нідерландах у 2022 р. становила 1452,3 американських доларів за 1000 м³, та за прогнозами у 2023 р. складатиме 1280,5 а у 2024 р. – 1007,3 за 1000 м³. Прибуток від вирощування енергетичних рослин та сировини для виробництва біогазу не менший, ніж прибуток від вирощування пшениці та кукурудзи на зерно. Тому в ситуації високих цін на природний газ значно зростають перспективи вирощування в Україні енергетичних культур, а саме кукурудзи на силос як сировини для виробництва біогазу та метану [17].

В умовах Правобережного Лісостепу України високі показники економічної ефективності отримано за сумісної сівби кукурудзи й сорго цукрового. Умовно чистий прибуток становив 10165,5 грн/га, а рівень рентабельності 194,6 %, що на 1604,0–5043,7 грн/га та 27,6–52,1 % більше порівняно з одновидовими посівами цих культур [39].

За результатами наших розрахунків, найвищі показники чистого прибутку отримано при вирощуванні середньостиглих гібридів КВС 381 і Каріфолс – 132955,2–169191,1 грн/га (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Економічна ефективність вирощування гібридів кукурудзи для виробництва метану (середнє за 2019–2021 рр.)

Макродобрива	Мікродобрива	Розрахунковий вихід метану, м ³ /га	Вартість метану, грн/м ³	Виробничі витрати, грн/га	Умовно-чистий прибуток, грн/га
Амарос					
Без добрив	1	3860,6	123540,1	28761,1	94779,0
	2	3952,3	126474,1	29797,3	96676,8
	3	3884,2	124294,0	29385,4	94908,7
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	4540,9	145307,3	36006,2	109301,0
	2	4473,2	143143,1	37042,4	106100,6
	3	4625,1	148004,4	36630,5	111373,9
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	4837,8	154809,0	40341,8	114467,1
	2	4768,9	152603,5	41377,9	111225,6
	3	4849,1	155170,1	40966,2	114203,9
Богатир					
Без добрив	1	4681,0	149792,2	28816,2	120976,0
	2	4867,3	155752,1	29876,4	125875,7
	3	4905,1	156962,1	29440,4	127521,7
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	5600,0	179200,7	36785,2	142415,5
	2	5539,8	177272,7	37809,4	139463,3
	3	5690,9	182108,0	37409,4	144698,6
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	5692,6	182164,1	40924,9	141239,1
	2	5744,3	183818,9	41961,0	141857,9
	3	5856,3	187401,7	41549,3	145852,5
КВС 381					
Без добрив	1	5062,0	161984,6	29029,4	132955,2
	2	5101,9	163262,3	30065,6	133196,6
	3	5214,8	166874,9	29653,7	137221,2
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	5797,6	185523,3	37797,0	147726,3
	2	5846,2	187078,2	38833,2	148245,0
	3	5959,0	190688,4	38421,2	152267,1
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	6009,7	192311,3	41802,0	150509,3
	2	6026,2	192839,9	42838,1	150001,8
	3	6128,0	196094,7	42426,4	153668,3
Каріфолс					
Без добрив	1	5337,9	170813,1	29121,6	141691,5
	2	5314,7	170071,8	30157,8	139914,0
	3	5459,4	174699,9	29745,8	144954,1
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	6114,2	195653,6	38469,7	157183,9
	2	6128,6	196115,7	39505,9	156609,8
	3	6485,9	207548,3	39094,0	168454,3
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	6383,0	204256,5	42329,0	161927,5
	2	6485,6	207539,3	43365,1	164174,2
	3	6629,5	212144,5	42953,4	169191,1

У середньоранніх гібридів Амарос і Богатир прибутковість була меншою на 17146,5–42144,5 грн.

У наших розрахунках використано ціну на природний газ за цінами січня 2022 р., відповідно виробничі витрати на вирощування кукурудзи (паливо, вартість добрив, захисту рослин і т.д) вираховували на зазначений період. При цьому не враховували витрати, що можуть бути понесені на утримання та експлуатацію біогазового обладнання, зокрема вартість сировини, затрати на оплату праці, амортизацію і ремонт біогазової станції, отримання дигестату. Також не враховано затрати на спалювання біогазу (метану) в когенераційній установці і виробництво електроенергії й тепла, затрати на їхню подачу в загальні мережі.

Виробничі витрати на вирощування та збирання кукурудзи при застосуванні макро добрив були в межах 36006,2–43365,1 грн/га, а мікродобрив – 29797,3–43365,1 грн/га, що на 25,2–44,0 % і 2,0–4,1 % вище, ніж у варіантах без їх використання. Щодо збільшення виходу метану, прибутковість вирощування кукурудзи при внесенні макро добрив зростала на 8,2–22,4 %, мікродобрив на 2,8–5,3 %. Різниця в прибутковості між другим і третім варіантом із мікродобривами становила 1645,9–5040,1 грн на користь останнього. І лише в гібрида Амарос на ділянках без макро добрив другий варіант застосування мікродобрив на 1768,1 грн переважав третій.

Найбільший умовно-чистий прибуток отримано в гібрида кукурудзи Каріфолс при застосуванні $N_{120}P_{90}K_{90}$ в поєднанні з передпосівною обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) й обприскуванням кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) – 169191,1 грн.

6.2. Енергетична ефективність

Енергетична оцінка певного технологічного процесу стає більш актуальною, замінюючи грошову (економічну), яка може бути залежною від політичних та інших соціальних обставин. При цій оцінці не проводиться аналіз собівартості продукції, тому що в умовах дисгармонії економічних важелів ці

показники не можуть відображати дійсну вартість як продукції, так і нових технологічних засобів [115].

Визначення енергії як затраченої, так й одержаної дає можливість кількісно оцінити енергетичну ефективність вирощування сільськогосподарських культур [35, 81]. За допомогою саме енергетичного аналізу можливо вдало порівняти різні технології вирощування тієї чи іншої культури. Одним із шляхів підвищення ефективності енерговикористання при виробництві продукції рослинництва є оптимізація технологічних прийомів та збільшення виходу продукції з одиниці площі. Енергетичний аналіз, який є концентрованим вираженням закону збереження та перетворення енергії, дозволяє зробити порівняння енерговитрат та вмісту (приходу) енергії в одержаному врожаї [132].

Правильно проведена ферментація 1 кг сухої маси рослинної сировини може забезпечити отримання близько 0,4 м³ біогазу з теплотворною здатністю 16,8–23,0 МДж [204].

За даними К. J. Jankowski та ін. [193], мінеральне підживлення складало основну частину енергозатрат (72–73 %) при вирощуванні кукурудзи, в основному через високу енергетичну цінність мінеральних добрив (66–71 %) і меншою мірою через потребу в енергії під час внесення добрив.

В умовах Польщі підвищені дози азотних добрив (80–160 кг/га д.р.) збільшували урожайність біомаси та продуктивність виходу метану з кукурудзи, але водночас викликали збільшення споживання енергії з 1 га. Тим не менш застосування вищих доз азоту не спричинило різкого зниження ефективності використання енергії [220]. У той же час W. Szempliński та ін. [242] стверджують, що технологія вирощування кукурудзи з високим рівнем азотних добрив забезпечує вищу урожайність біомаси, але водночас спричиняє зниження коефіцієнту енергетичної ефективності.

Основною методологічною проблемою при визначенні енергетичної ефективності виробництва біогазу та отриманих у результаті зброджування біодобрив залишається питання розподілу витрат між цими видами продукції.

Від того, яким способом ці витрати будуть розраховані та розділені, залежить не лише собівартість виробництва продукції, але й енергетична ефективність самої біоенергетичної технології виробництва біогазу. За умов використання біогазу для виробництва метану або газоподібного палива та діоксиду вуглецю CO_2 усі енергетичні витрати розподіляються пропорційно енергетичній складовій метану (газоподібного палива) й діоксиду вуглецю CO_2 [71].

Для енергетичної оцінки біогазових систем необхідно знати специфіку місцевих та регіональних умов, що вимагає нових і точних даних щодо онтогенезу рослин з урахуванням існуючих систем з виробництва біогазу. Тому, існує потреба в сучасних даних з врожайності сільськогосподарських культур та виходу біогазу та метану, так як ці показники впливають на енергетичну оцінку біогазових систем [164].

Коефіцієнт енергетичної ефективності, який розраховується як співвідношення енергії, отриманої з метану, з енергією, витраченою на вирощування, збір та подрібнення кукурудзи коливається в межах від 2,9 до 5,1. Затрати енергії на вирощування кукурудзи оцінено в діапазоні від 25,3 до 63,8 ГДж/га або 0,8–1,4 ГДж/т зеленої маси кукурудзи (табл. 6.2–6.3).

За рахунок високої енергетичності макроудобрив та збільшення затрат на їхню підготовку й внесення відмічено зростання витрат енергії при застосуванні $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ на 34,8–53,0 % порівняно з варіантом без їхнього використання. Збільшення дози з $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ до $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ потребує додатково ще 36,2–43,9 % витрат енергії. При внесенні мікроудобрив зростання затрат енергії становить 3,2–7,3 %.

Відмічено зменшення коефіцієнту енергетичної ефективності при використанні макроудобрив. Так, на варіантах без внесення макроудобрив цей показник становив 4,5–5,1 а при застосуванні $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ він зменшувався до 3,5–4,2 а при $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ до 2,9–3,5.

При обробці насіння YaraVita Teprosyn NP+Zn (5 л/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га) вихід енергії з метану й затрати енергії зростали на 1,3–4,4 % і 1,5–3,4 % порівняно з варіантом без

їхнього застосування, але коефіцієнт енергетичної ефективності (Ке) практично не змінювався.

Таблиця 6.2

Енергетична ефективність вирощування середньоранніх гібридів кукурудзи для виробництва метану (середнє за 2019–2021 рр.)

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	Вихід енергії з метану, ГДж/га	Витрати енергії на вирощування кукурудзи, ГДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності (Ке)
Амарос	Без добрив	1	119,6	25,3	4,7
		2	122,6	26,7	4,6
		3	120,9	26,2	4,6
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	141,1	38,7	3,6
		2	139,5	39,8	3,5
		3	144,8	39,5	3,7
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	151,5	49,8	3,0
		2	149,6	51,3	2,9
		3	152,6	50,8	3,0
Богатир	Без добрив	1	144,3	28,7	5,0
		2	150,5	30,2	5,0
		3	152,1	30,0	5,1
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	173,5	40,9	4,2
		2	171,9	42,3	4,1
		3	177,0	42,5	4,2
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	178,1	51,3	3,5
		2	179,9	53,4	3,4
		3	184,1	53,1	3,5

При обробці насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita KombiPhos (3 л/га) вихід енергії з метану був у межах 120,9–207,5 ГДж/га. Коефіцієнт енергетичної ефективності (Ке) становив при цьому 2,9–5,1, що вище за варіант без застосування мікродобрив (контроль) на 1,4–4,2 %. Вища ефективність третього варіанту застосування мікродобрив, порівняно з другим, пояснюється зростанням виходом біогазу та меншими енергетичними витратами.

Необхідно зауважити, що більшість досліджуваних схем внесення макро добрив і мікро добрив дають можливість отримати від 0,4 до 16,4 % додаткової енергії в метані, порівняно з варіантами без їхнього застосування.

Таблиця 6.3

Енергетична ефективність вирощування середньостиглих гібридів кукурудзи для виробництва метану (середнє за 2019–2021 рр.)

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	Вихід енергії метану, ГДж/га	Витрати енергії, ГДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності (Ke)
КВС 381	Без добрив	1	157,6	32,8	4,8
		2	159,1	34,5	4,6
		3	163,3	34,1	4,8
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	180,6	44,7	4,0
		2	182,4	46,3	3,9
		3	186,2	46,0	4,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	187,7	58,2	3,2
		2	188,3	59,6	3,2
		3	191,9	59,3	3,2
Каріфолс	Без добрив	1	168,1	35,6	4,7
		2	167,6	37,2	4,5
		3	172,8	37,0	4,7
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	189,7	48,0	4,0
		2	190,1	49,4	3,8
		3	201,4	49,3	4,1
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	199,4	62,1	3,2
		2	202,5	63,8	3,2
		3	207,5	63,4	3,3

Максимальний вихід енергії з метану (207,5 ГДж/га) отримано в гібрида Каріфолс при застосуванні N₁₂₀P₉₀K₉₀ та передпосівної обробки насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) й обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га). Але найвищий показник коефіцієнта енергетичної ефективності (5,1) одержано в гібрида Богатир на варіанті без використання макро добрив.

Наші результати збігаються з дослідженнями інших учених. Так, у Польщі вихід енергії з біомаси кукурудзи коливався від 197 до 290 ГДж га⁻¹,

тоді як середній енергетичний вихід біомаси сорго був на 61 ГДж га⁻¹ меншим. Приріст енергії та коефіцієнт енергоефективності біомаси кукурудзи був на рівні 172–265 ГДж га⁻¹ та 7,7–11,3 відповідно [193]. У Бельгії вихід енергії з біомаси кукурудзи становив від 319 до 363 ГДж га⁻¹ за різних технологій вирощування [234]. Біомаса кукурудзи, вирощена в Німеччині, акумулювала 300–368 ГДж га⁻¹ енергії [163].

Висновки за розділом 6:

1. Показники чистого прибутку при вирощуванні гібридів кукурудзи були в межах 94779,0–169191,1 грн/га. Відмічено зростання виробничих витрат при застосуванні макро- та мікродобрив на 25,2–44,0 %, а мікродобрив – на 2,0–4,1 % порівняно з варіантами без їхнього використання. Але завдяки збільшенню виходу метану, прибутковість вирощування кукурудзи при внесенні макро- та мікродобрив зростала на 8,2–22,4 %, а мікродобрив на 2,8–5,3 %.

2. Внесення макро- та мікродобрив дає можливість отримати від 0,4 до 16,4 % додаткової енергії в метані, порівняно з варіантами без їх застосування. При використанні макро- та мікродобрив спостерігається зменшення коефіцієнту енергетичної ефективності (К_e) до 2,9–4,2.

3. Найбільші показники умовно-чистого прибутку та виходу енергії з метану отримано в гібрида кукурудзи Каріфолс при застосуванні N₁₂₀P₉₀K₉₀ у поєднанні з передпосівною обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) й обприскуванням кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita KombiPhos (3 л/га) – 169191,1 грн і 207,5 ГДж/га. Але найвищий показник коефіцієнта енергетичної ефективності (5,0) одержано в гібрида Богатир у варіанті без використання макро- та мікродобрив.

Основні положення дисертації викладені в наукових працях [35, 185].

ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі науково обґрунтовано особливості росту, розвитку й формування урожайності та якості кукурудзи на силос як біоенергетичної культури для виробництва біогазу залежно від застосування макро- та мікродобрів в умовах Правобережного Лісостепу України.

2. Встановлено, що застосування макродобрів подовжує період вегетації кукурудзи на 1–2 доби, а мікродобрів навпаки скорочує його на одну добу. Виявлено тісні кореляційні зв'язки між тривалістю періоду вегетації гібридів кукурудзи та гідротермічними умовами років досліджень.

3. Найвищі показники висоти рослин кукурудзи були у фазу воскової стиглості зерна та становили в середньостиглих гібридів 222,0–249,0 см, а в середньоранніх – 212,7–236,7 см. При застосуванні макродобрів збільшення висоти рослин становило 3,4–7,6 %, а мікродобрів – 1,5–1,8%, порівняно з варіантами без їхнього внесення.

4. Відмічено, що максимальна площа листкової поверхні була у фазу цвітіння качанів у гібриду кукурудзи Каріфолс у варіанті із застосуванням $N_{120}P_{90}K_{90}$ та YaraTera Tenso Cocktail + YaraVita Kombiphos – 49,0 тис. м²/га. В усі періоди обліків відмічено перевагу варіантів із застосуванням макро- та мікродобрів.

5. Доведено, що приріст чистої продуктивності фотосинтезу при застосуванні макродобрів становив 2,8–11,6 %, а мікродобрів – 1,0–3,9 %, порівняно з контрольними варіантами. У середньостиглих гібридів фотосинтетичний потенціал посівів був вищим на 18,6–36,5 %, порівняно із середньоранніми. Встановлено тісні кореляційні зв'язки між площею листової поверхні, фотосинтетичним потенціалом та урожайністю зеленої маси гібридів кукурудзи.

6. Виявлено, що при застосуванні макро- та мікродобрів збільшується маса рослини кукурудзи на 12,7–30,8 % та 0,7–2,8 %, порівняно з варіантами без їхнього використання. Під впливом макродобрів частка листків

і стебел у загальній масі рослини зменшується на 0,3–0,8 %, а мікродобрив – на 0,1–0,3 %, тоді як частка зерна в загальній структурі рослин кукурудзи зростає на 0,3–1,2 % та 0,1–0,3 %.

7. Вміст сухої речовини в рослинах кукурудзи був у межах 31,5–39,9%, у зерні – 58,6–63,4 %, листках – 34,8–37,1 %, обгортках качана 31,0–34,2% та стеблі кукурудзи – 22,9–25,3 %. У середньому по досліді найвищим вмістом сухої речовини відзначався гібрид Богатир – 39,2 %. Під впливом макро- та мікродобрив вміст сухої речовини зменшувався на 0,3–1,3 %, порівняно з контрольними варіантами. Застосування мікродобрив не впливало на вміст сухої речовини.

8. Урожайність сухої і зеленої маси кукурудзи зростала при внесенні макро- та мікродобрив на 11,4–21,0 %, а мікродобрив на 1,2–3,9 %, порівняно з варіантами без їхнього застосування. Максимальні показники урожайності зеленої і сухої маси отримано у фазу молочно-воскової стиглості зерна у гібриду Каріфолс на фоні внесення $N_{120}P_{90}K_{90}$ і обробці насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita KombiPhos (3 л/га) відповідно 48,9 і 17,7 т/га. На урожайність зеленої маси кукурудзи високий вплив мають погодні умови (26,0 %), макро- та мікродобрива (38,5 %), генотип гібридів (28,5 %) і мікродобрива (6,8 %).

9. Досліджено, що внесення макро- та мікродобрив призводило до приросту вмісту крохмалю, сирого протеїну та целюлози в рослинних зразках кукурудзи у відношенні до варіантів без їхнього використання. Одночасно зі зростанням вмісту цих показників спостерігається зниження вмісту клітковини під впливом добрив. Вихід метану має високий взаємозв'язок із вмістом крохмалю ($r = 0,86$), сирого протеїну ($r = 0,93$) і жиру ($r = 0,95$) та середній із вмістом сирі золи ($r = 0,57$), целюлози ($r = 0,66$) та геміцелюлози ($r = 0,58$).

10. Розрахунковий вихід біогазу в середньоранніх гібридів кукурудзи був у межах 9062,0–13716,3 м³/га а в середньостиглих – 11635,3–15589,5 м³/га. Серед гібридів, в середньому по досліді, вищими значеннями цього показника відзначалися КВС 381 (13334,6 м³/га) і Каріфолс (14134,5 тис. м³/га).

Застосування макродобрих підвищувало вихід біогазу на 15,2–30,9 %, а мікродобрих – на 1,8–3,6 %, порівняно з варіантами без їхнього використання.

11. Питомий вихід метану був у межах від 272,1 до 356,6 $\text{нм}^3/\text{т СОР}$, що в перерахунку на зелену масу кукурудзи становить 97,2–129,2 $\text{нм}^3/\text{т}$. Найвищий розрахунковий вихід метану отримано в гібриду кукурудзи Каріфолс – 5337,9–6629,5 $\text{м}^3/\text{га}$. У КВС 381 він становив 5062,0–6128,0 $\text{м}^3/\text{га}$, Богатир – 4681,0–5856,3 $\text{м}^3/\text{га}$, Амарос – 3860,6–4849,1 $\text{м}^3/\text{га}$. Застосування макродобрих дозволяє підвищити вихід біогазу та метану на 11,2–28,4 %, а мікродобрих на 1,6–3,3 %.

12. Показники чистого прибутку при вирощуванні гібридів кукурудзи для виробництва метану були в межах 94779,0–169191,1 грн. Відмічено зростання виробничих витрат при застосуванні макродобрих на 25,2–44,0 %, а мікродобрих на 2,0–4,1 %, порівняно з варіантами без їхнього використання. Але завдяки збільшенню виходу метану прибутковість вирощування кукурудзи при внесенні макродобрих зростала на 8,2–22,4 % а мікродобрих – на 2,8–5,3 %.

13. Найбільші показники виходу енергії з метану отримано в гібрида кукурудзи Каріфолс при застосуванні $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ в поєднанні з передпосівною обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 $\text{кг}/\text{т}$) й обприскуванням кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 $\text{л}/\text{га}$) – 207,5 ГДж/га. Але найвищий показник коефіцієнта енергетичної ефективності (5,0) одержано в гібрида Богатир на варіанті без використання макродобрих.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

З метою отримання високої врожайності зеленої маси кукурудзи на силос, за вирощування її як біоенергетичної культури для виробництва біогазу, рекомендується аграрним підприємствам зони Правобережного Лісостепу України, висівати середньостиглі гібриди кукурудзи КВС 381 і Каріфолс із застосуванням передпосівної обробки насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) й обприскуванням кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) на фоні внесення $N_{120}P_{90}K_{90}$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анішин Л. А., Пономаренко С. П., Грицаєнко З. М. Регулятори росту рослин. Рекомендації по застосуванню. Київ: МНТЦ «Агробіотех». 2011. 54 с.
2. Асанішвілі Н. М. Оптимізація мінерального живлення гібридів кукурудзи на основі рослинної діагностики. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. №11(3). 22–32.
3. Балабух В. О. Вплив зміни клімату на формування урожайності кукурудзи в агрокліматичних зонах України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 3. С. 103–104.
4. Білявська Л. Г., Рибальченко А. М. Структура кореляційних зв'язків кількісних ознак у колекційних зразків сої в Лівобережному Лісостепу України. *Зрошуване землеробство*. 2020. Вип. 74. С. 97–102.
5. Блюм Я. Б., Гелетуха Г. Г., Григорюк І. П. Новітні технології біоенергоконверсії. Київ : «Аграр Медіа Груп», 2010. 326 с.
6. Булигін С. Ю., Фатєєв А. І., Демішев Л. Ф., Туровський Ю. Ю. Мікродобрива важливий резерв підвищення урожайності сільськогосподарських культур. *Вісник аграрної науки*. 2000. № 11. С. 13–15.
7. Венглінський М. О., Глущенко М. К., Годинчук Н. В., Хмара Т. І. Роль мікроелементів у живленні рослин та покращені родючості ґрунтів. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2014. Вип. 1. С. 73–75.
8. 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*. 2016. №65. С. 86-89.
9. 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.
10. Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю., Міщенко С. В., Базиленко Є. О. Перспективні культури для виробництва біоетанолу в Україні. *Аграрні інновації*. 2022. Вип. 11. С. 5–15.
 11. Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю., Пілярська О. О., Забара П. П. Вплив елементів технологій вирощування на площу асиміляційної поверхні посівів ліній – батьківських компонентів гібридів кукурудзи в умовах зрошення. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 12 (825). С. 51–58.
 12. Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю., Пілярська О. О., Забара П. П. Морфологічні показники гібридів кукурудзи різних груп ФАО залежно від елементів технології за умов зрошення. *Аграрні інновації*. 2021. № 8. С.91–99.
 13. Вожегова Р. А., Марченко Т. Ю., Забара П. П., Пілярська О. О. Особливості фотосинтетичної діяльності ліній–батьківських компонентів гібридів кукурудзи залежно від елементів технології в умовах зрошення. *Зрошуване землеробство*. 2021. Вип. 76. С. 54–59.
 14. Гаврилюк В. М. Кукурудза у вашому господарстві. Київ, 2001. 232 с.
 15. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Драгнєв С. В., Гайдай О. І. Десять кроків України для відмови від російського природного газу. 2022. *Аналітична записка UABIO*. № 28. 47 с.
 16. Гелетуха Г. Енергія, що росте на полях. *Економічна правда*. 2021. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/05/24/674199/index.amp>
 17. Гелетуха Г. Що вирощувати: харчі чи енергію? *Економічна правда*. 2022. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/08/31/690982/index.amp>
 18. Гелетуха Г., Драгнєв С., Железна Т., Карампініс М. Енергія з решток кукурудзи. Київ, 2020. 48 с.

19. Гелету́ха Г. Г., Драгнєв С. В., Желєзна Т. А., Баштовий А. І. Аналіз виробництва пелет та брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно. *Аналітична записка UABIO*. 2020. № 23. 42 с.
20. Гелету́ха Г. Г., Желєзна Т. А., Матвєєв Ю. Б., Кучерук П. П., Крамар В. Г. Дорожня карта розвитку біоенергетики України до 2050 року. *Аналітична записка UABIO*. 2020. № 26. 54 с.
21. Гелету́ха Г. Г., Кучерук П. П., Матвєєв Ю. Б. Перспективи виробництва біометану в Україні. *Аналітична записка UABIO*. 2022. № 29. 60 с.
22. Гелету́ха Г. Г., Кучерук П., Матвєєв Ю., Науменко Д., Станев А. & Матиюк Л. Развитие биогазовых технологий в Украине и Германии: нормативно-правовое поле, состояние и перспективы. Киев-Гюльцов, 2013. 72 с.
23. Гібриди кукурудзи KWS – сучасне та надійне джерело біоенергії. URL: <https://infoindustria.com.ua/gibridi-kukurudzi-kws-suchasne-ta-nadiyne-dzherelo-bioenergiyi/>
24. Городній М. М., Павлик Р. М. Вплив систематичного використання добрив в сівозміні на формування асиміляційного апарату посівів та продуктивність кукурудзи на силос. *Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2010. № 149. С. 54–60.
25. Городній М. М., Мельник С. І., Маліновський А. С. Агрохімія. Київ : Алефа, 2003. 778 с.
26. Господаренко Г. М. Агрохімія мінеральних добрив. Київ : Науковий світ, 2003. 136 с.
27. Грабовский Н. Б. Производительность сорго сахарного и выход биогаза в зависимости от гидротермических условий вегетационного периода. *Вєсник Палєскага дзяржаўнага універсітэта. Сєрыя прыродазнаўчых навук*. 2017. № 2. С. 22–28.
28. Грабовський М. Б. Ефективність застосування мінеральних добрив у одновидових та сумісних посівах сорго цукрового та кукурудзи. *Техніка і технології АПК*. 2018. № 8–9 (107). С. 21–24.

29. Грабовський М. Б. Особливості технології вирощування кукурудзи як сировини для виробництва біогазу. *Рослинництво та ґрунтознавство*. Київ, 2019. Т. 10. №2. С. 12–17.
30. Грабовський М. Б. Продуктивність сумісних посівів сорго цукрового й кукурудзи та вихід біогазу залежно від густоти стояння рослин і ширини міжрядь. *Біоенергетика*. 2018. № 2 (12). С. 32–34.
31. Грабовський М. Б., Павліченко К. В. Перспективи вирощування біоенергетичних гібридів кукурудзи компанії KWS для виробництва біогазу. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи еко-інноваційного розвитку сільськогосподарського виробництва», м. Полтава, 20 листопада 2020 р., С. 114–116.
32. Грабовський М. Б., Городецький О. С., Павліченко К. В. Формування продуктивності кукурудзи на силос залежно від рівня мінерального живлення. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, лісовому та садово-парковому господарстві»*, м. Біла Церква, 30 жовтня 2020 р., С. 3–5.
33. Грабовський М. Б., Павліченко К. В. Накопичення сухої маси рослинами кукурудзи залежно від удобрення та позакореневого підживлення. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів, молодих учених та спеціалістів*, м. Харків, 3 грудня 2021 року., С. 26–27.
34. Грабовський М. Б., Павліченко К. В. Вплив макро- та мікродобрив на тривалість міжфазних періодів рослин кукурудзи. *Матеріали міжнародної наукової інтернет-конференції «Наукові здобутки селекціонерів ННЦ «Інститут землеробства НААН» – на благо майбутнього, присвячена 120-річчю від дня народження вченого, аграрія, селекціонера Данила Лихваря»*, м. Вінниця, 8 вересня 2022 р., С. 83–86.
35. Грабовський М. Б., Павліченко К. В., Козак Л. А., Качан Л. М. Енергетична ефективність вирощування гібридів кукурудзи для виробництва біогазу за використання макро- та мікродобрив. *Зернові культури*. 2022. № 1. С. 100–107.

36. Грабовський М. Б., Федорук Ю. В., Правдива Л. А., Грабовська Т. О. Вплив площі живлення рослин сорго цукрового та кукурудзи на їх ріст, розвиток та урожайність зеленої маси в сумісних посівах. *Наукові доповіді НУБіП України*. Київ, 2018. № 5 (75). <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2018.05.024>
37. Грабовський М. Б., Федорук Ю. В., Правдива Л. А., Грабовська Т. О. Вплив рівня мінерального живлення на ріст, розвиток та водоспоживання рослин сорго цукрового та кукурудзи в одновидових та сумісних посівах. *Таврійський науковий вісник*. 2018. Вип. 103. С.27–35.
38. Грабовський М. Б. Економічна та біоенергетична ефективність вирощування сорго цукрового та кукурудзи як біоенергетичних культур за різного рівня мінерального живлення. *Зернові культури*. Том 2. № 2. 2018. С. 294–300.
39. Грабовський М. Б. Потенціал виробництва біогазу з силосної маси сорго цукрового та кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. 2019. Вип. 106. С. 26–32.
40. Грабовський М. Б. Продуктивність кукурудзи на силос та вихід біогазу залежно від густоти стояння рослин. *Наукові горизонти*. 2019. № 7 (80). С. 15–21.
41. Грабовський М. Б., Вахній С. П., Лозінський М. В., Панченко Т. В., Басюк П. Л. Зернова продуктивність гібридів кукурудзи залежно від застосування комплексних мінеральних добрив. *Агробіологія*. 2021. № 2. С. 33–42.
42. Грабовський М. Б., Грабовська Т. О., Городецький О. С., Курило В. Л. Формування продуктивності кукурудзи на силос залежно від фону мінерального живлення. *Зрошуване землеробство*. 2019. Вип. 71. С. 37–40.
43. Грабовський М. Б., Грабовська Т. О., Ображій С. В. Вплив гідротермічних умов вегетації на урожайність гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах центрального Лісостепу України. *Агробіологія*. 2014. № 1 (109). С. 57–61.

44. Грабовський М. Б., Грабовська Т. О., Ображій С. В. Формування продуктивності сумісних посівів кукурудзи і сорго цукрового залежно від заходів захисту рослин від бур'янів. *Агробіологія*. 2016. № 1 (124). С. 28–36.
45. Грабовський М. Б., Козак Л. А., Павліченко К. В. Зміна фотосинтетичних показників посівів кукурудзи під впливом макро і мікро добрив. *Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Аграрна освіта та наука : досягнення і перспективи розвитку»*, м. Біла Церква, 4–5 березня 2021 р., С. 187–189.
46. Грабовський М. Б., Roubík Нупек, Кучерук П. П., Павліченко К. В. Розрахунковий вихід біогазу і метану у гібридів кукурудзи залежно від застосування добрив. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, електроенергетиці, лісовому та садово-парковому господарстві»*, м. Біла Церква, 20 жовтня 2022 р., С. 22–24.
47. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів: методичні рекомендації. Київ : ЗАТ «Нічлава», 2003. 320 с.
48. Гуляєв Б. І. та ін. Фотосинтез і екофізіологічні основи фотосинтетичної продуктивності кукурудзи. Регуляція фотосинтезу і продуктивність рослин: фізіологічні та екологічні аспекти. Київ: Фітосоціоцентр, 2006. С. 257–302.
49. Дейнеко Л. В., Загний О. Г. Проблеми виробництва та використання біопалива в Україні. *Вісник Сумського державного університету. Серія: Економіка*. 2006. № 1 (85). С. 49–54.
50. Дем'янчук О. П. Продуктивність та кормова цінність різностиглих гібридів кукурудзи залежно від строку сівби і позакореневого підживлення в умовах правобережного Лісостепу України: дис. на здобуття наук. ступ. канд. с.-г. наук. Вінниця, 2006. 20 с.

51. ДСТУ ISO 5983–2003. Визначення вмісту азоту і обчислення вмісту сирого білка методом К'ельдаля. [Розроблений вперше ; введ. 01.01.04.]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 18 с.
52. ДСТУ ISO 5984:2004. Визначення вмісту сирої золи. [Розроблений вперше; введ. 01.01.2006]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 4 с.
53. ДСТУ ISO 6491:2004. Визначення вмісту фосфору. Спектрометричний метод. [На заміну ГОСТ 26657–97; введ. 01.01.05.]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 16 с.
54. ДСТУ ISO 6492–2003. Визначення вмісту жиру. [На заміну ГОСТ 13496.15–97; введ. 01.01.2004.]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 19 с.
55. ДСТУ ISO 6865:2004. Визначення вмісту сирої клітковини методом проміжного фільтрування (ISO 6865:2000, IDT). [Розроблений вперше; введ. 01.04.2006]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 14 с.
56. Дубровін В. О., Корчемний М. О., Масло І. П. Біопалива (технологія, машини і обладнання). Київ : ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. 256 с.
57. Дубровський В. В. Огляд енергетичних проблем в Україні та світі у зв'язку з російським вторгненням. *Proceedings of the 4th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua"*. Lviv, Ukraine. 2022. С. 244–251.
58. Дудка М. І., Яқунін О. П., Ковтун О. В., Гладкий О. В. Формування врожайності зерна кукурудзи залежно від макро- та мікродобрив. *Зернові культури*. 2021. Том 5. № 1. С. 45–51.
59. Енергетика України 2021. URL: <https://businessviews.com.ua/energy-of-ukraine-2021/>
60. Енергозбережні і ресурсощадні технології вирощування кукурудзи. Рекомендації. Інститут зернового господарства УААН. Дніпропетровськ, 2006. 27 с.

61. Ермантраут Е. Р., Бобро М. А., Гопцій Т. І., Огурцов Є. М., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Мещеряков Є. П., Бухало В. Я., Рожков А. О. Методика наукових досліджень в агрономії. Харків : ХНАУ, 2008. 63 с.
62. Єрмакова Л. М., Івановська Р. Т., Дем'янчук О. П. Вплив позакореневого підживлення гібридів кукурудзи на їх продуктивність. *Землеробство*, 2006. Вип. 78. С. 47–53.
63. Житомирська область: фізико-географічний опис. Реферат. URL: <http://osvita.ua/vnz/reports/geograf/23769/>
64. Забарний Г. М., Кудря С. О., Кондратюк Г. Г., Четверик Г. О. Термодинамічна ефективність та ресурси рідкого біопалива України. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2006. 226 с.
65. Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножко М. А. Рослинництво: підручник / за ред. О. І. Зінченка. Київ : Аграрна освіта, 2001. С. 249–265.
66. Іванишин О.С. Вирощування різностиглих гібридів кукурудзи в умовах Лісостепу західного. *Abstracts of IV International Scientific and Practical Conference Kharkiv, Ukraine, 16–17 March 2020*, С. 25–26.
67. Іванишин О. С. Залежність площі асиміляційної поверхні листків та фотосинтетичного потенціалу кукурудзи від норм макро- та мікродобрива. *SWorld journal*. 2021. № 8(2). 133–139.
68. Іванишин О. С. Площа асиміляційної поверхні листків та урожайність гібридів кукурудзи залежно від удобрення в умовах Лісостепу Західного. *Таврійський науковий вісник*. 2020. Вип. 112. С. 77–81.
69. Калетнік Г. М. Виробництво та використання біопалив : підручник. Вінниця: Консоль, 2015. 416 с.
70. Каменщук Б. Д. Оцінка гібридів кукурудзи на придатність до виробництва біоетанолу. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 12. С. 26–28.
71. Кернасюк Ю. В. Науково-методологічні підходи до визначення собівартості виробництва та економічної ефективності продукції біоенергетичної утилізації гною. *Наукові праці Кіровоградського*

- національного технічного університету. *Економічні науки*. 2010. Вип. 17. С. 164–171.
72. Климчук О. В. Виробництво біологічних видів палива з біомаси сільськогосподарських культур. *Хранение и переработка зерна*. 2012. № 9 (159). С. 38–40.
73. Климчук О. В. Ефективність комплексного використання кукурудзи в біоенергетиці. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 19. С. 150–154.
74. Князюк О. В., Липовий В. Г., Підпалый І. Ф. Вплив технологічних прийомів вирощування на фотосинтетичну продуктивність гібридів кукурудзи. *Агробіологія*, 2012. Вип. 9. С. 116–120.
75. Кравченко І. Й. Аспекти розвитку виробництва сільськогосподарської продукції та проміжних продуктів цукрового виробництва як сировини для переробки на біопаливо. *Інноваційна економіка*. 2014. № 5 (54). С. 107–110.
76. Крамаров С. Урожайність і якість гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від рівня мінерального живлення в Північному Степу України. *Вісник ЛНАУ: Агронімія*. 2009. № 13. С. 36–39.
77. Кучерук П. П., Матвеев Ю. Б., Ходаківська Т. В., Грабовський М. Б. Перспективи виробництва біогазу із сумішей гнойових відходів тваринництва та рослинної сировини в Україні. *Промислова теплотехніка*. 2013. Т. 35. № 1. С. 107–113.
78. Лавриненко Ю. О., Гож О. А. Ріст і розвиток рослин гібридів кукурудзи ФАО 180–430 за впливу регуляторів росту і мікродобрив в умовах зрошення на Півдні України. *Зрошуване землеробство*. 2016. № 65. С. 128–131.
79. Лавриненко Ю. О., Рубан В. Б. Динаміка листової поверхні рослин кукурудзи та фотосинтетичні показники посівів при краплинному способі поливу в умовах Півдня України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2014. Вип. 4. С. 122–128.
80. Лавриненко Ю. О., Гож О. А., Марченко Т. Ю., Сова Р. С., Глушко Т. В., Михаленко І. В., Шепель А. В. Продуктивність нових гібридів кукурудзи

- ФАО 310–430 за впливу регуляторів росту та мікродобрив в умовах зрошення на Півдні України. *Зрошуване землеробство*. 2016. № 66. С. 27–30.
81. Лавриненко Ю. О., Коковішін С. В., Найдьонов В. Г. Біоенергетична оцінка технології вирощування кукурудзи на зерно залежно від гібридного складу та режиму зрошення. *Таврійський науковий вісник*. 2008. Вип. № 56. С. 11–20.
82. Лихочвор В. В., Шинкарук Л. М. Фотосинтетичні показники рослин кукурудзи залежно від елементів удобрення. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «*Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти*», м. Київ, квітень 2021 р., 2021. С. 95–97.
83. Лихочвор В. В. Мінеральні добрива та їх застосування. Львів: НВФ «Українські технології», 2008. 312 с.
84. Лісовал А. П., Макаренко В. М., Кравченко С. М. Система застосування добрив: підручник. Київ : Вища школа, 2002. 317 с.
85. Мазур В. А., Азуркін В. О., Поліщук І. С. Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від густоти стояння для виробництва біоетанолу. *Збірник наукових праць ВНАУ*. 2011. С. 27–30.
86. Мазур В. А., Паламарчук В. Д., Поліщук І. С., Паламарчук О. Д. Новітні агротехнології у рослинництві. Вінниця, 2017. 588 с.
87. Мазур В. А., Шевченко Н. В. Формування площі листкової поверхні рослин гібридів кукурудзи залежно від технологічних прийомів вирощування. *Біоресурси і природокористування*, 2018. Т. 10. № 1–2. С. 108–114.
88. Маренич М. М., Капленко В. О., Коба К. В., Голуб О. Р. Особливості управління врожайністю кукурудзи в умовах нестійкого зволоження. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 4. С. 43–50.
89. Марченко Т. Ю., Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Хоменко Т. М. Особливості формування фотосинтетичного потенціалу і врожайності

- насіння батьківських компонентів кукурудзи в умовах зрошення та застосування стимулятора росту. *Plant Varieties Studying and protection*. 2020. Том. 16. № 2. С. 191–198.
90. Марченко Т. Ю., Лавриненко Ю. О., Тищенко А. В., Забара П. П. Прояв і мінливість біометричних ознак у ліній–батьківських компонентів та гібридів кукурудзи за використання різних генетичних плазм при зрошенні. *Наукові доповіді НУБІП України*. 2020. № 3(85).
91. Марченко Т. Ю., Лавриненко Ю. О., Кирпа М. Я., Стасів О. Ф. Ефективність застосування біопрепаратів під час вирощування ліній-батьківських компонентів гібридів кукурудзи за різної густоти рослин в умовах краплинного зрошення. *Аграрні інновації*. 2021. № 5. С. 135–142.
92. Марченко Т. Ю., Лавриненко Ю. О., Пілярська О. О., Забара П. П., Хоменко Т. М., Михаленко І. В., Іванів М. О. Динаміка накопичення сирової та сухої надземної біомаси гібридами кукурудзи за краплинного зрошення. *Зрошуване землеробство*. 2019. Вип.71. С. 108–113.
93. Марчук І. У., Макаренко В. М., Розстальний В. Є., Савчук А. В. Добрива та їх використання. Київ : Дія, 2002. 256 с.
94. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ : Урожай, 1988. 206 с.
95. Методика проведення польових дослідів з кукурудзою: [метод. рекомендації] / за ред. Є. М. Лебідя. Дніпропетровськ, 2008. 27 с.
96. Методичні рекомендації з розрахунку виходу біогазу та біоетанолу з біоенергетичних культур / Грабовський М. Б., Вахній С. П., Хахула В. С., Федорук Ю. В., Правдива Л. А., Панченко Т. В., Остренко М. В., Козак Л. А., Городецький О. С. Біла Церква. 2021. 28 с.
97. Мойсейченко В. Ф., Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ : Вища школа, 1994. 334 с.

98. Мойсієнко В. В. Пріоритетність та шляхи підвищення продуктивності зернової та силосної кукурудзи. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2015. № 1(1). С. 190–203.
99. Мокрієнко В. А. Мінеральне живлення кукурудзи. *Агроном*. 2009. № 2. С. 102–104.
100. Молдован Ж. А., Собчук С. І. Оцінка показників індивідуальної продуктивності рослин кукурудзи за допосівної обробки насіння та позакореневого підживлення. *Зернові культури*. 2018. Т. 2. № 1. С. 101–108.
101. Надь Я. Кукурудза. Вінниця : ФОП Корзун, 2012. 580 с.
102. Ничипорович А. А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений. Физиология фотосинтеза. Москва : Наука, 1982. С. 7–33.
103. Ничипорович А. А., Строганова Л. Е., Чмора С. Н., Власова М. П. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. Москва: АН СССР, 1961. 133 с.
104. Ничипорович А. А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. Москва, Издание АН СССР, 1961. 136 с.
105. Павліченко К. В. Формування елементів структури врожаю гібридами кукурудзи на силос під впливом макро і мікродобрих. *Аграрні інновації*. 2022. № 12. С. 77–84.
106. Павліченко К. В. Кореляційні зв'язки між кількісними ознаками та виходом біогазу у гібридів кукурудзи. *Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів*. с. Центральне, 23 квітня 2021 р., С. 82.
107. Павліченко К. В., Грабовський М. Б. Урожайність зеленої і сухої маси гібридів кукурудзи та вихід біогазу залежно від застосування макро- та мікродобрих. *Зрошуване землеробство*. 2022. Вип. 77. С. 79–85.
108. Павліченко К. В., Грабовський М. Б. Формування біометричних показників та накопичення сирової надземної маси гібридами кукурудзи під

- впливом макро- та мікродобрих. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 123. С. 98–111.
109. Паламарчук В. Д., Віннік О. В., Коваленко О. А. Вміст крохмалю у зерні кукурудзи та вихід біоетанолу залежно від умов вегетації та факторів технології вирощування. *Аграрні інновації*. 2021. № 5. С. 143–156.
110. Паламарчук В. Д., Дідур І. М., Колісник О. М., Алексєєв О. О. Аспекти сучасної технології вирощування висококрохмальної кукурудзи в умовах Лісостепу правобережного. Вінниця : ТОВ «Друк», 2020. 536 с.
111. Паламарчук В. Д., Коваленко О. А. Вплив позакореневих підживлень на формування площі листової поверхні гібридів кукурудзи. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2018. Вип. 2. С. 32–38.
112. Паламарчук В. Д., Коваленко О. А., Кричковський В. Ю. Підвищення ефективності біогазових комплексів за рахунок використання дигестату під час вирощування сільськогосподарських та овочевих культур. *Зрошуване землеробство*. 2020. Вип. 73. С. 95–101.
113. Паламарчук В. Д., Поліщук І. С., Єрмакова Л. М., Каленська С. М. Біологія та екологія сільськогосподарських рослин. Вінниця: ФОП Данилюк, 2013. 636 с.
114. Пастернак В. Елементи мінерального живлення рослин. УкрАгроРесурс, 2015. 30 с.
115. Петров В. М. Організація виробництва та планування діяльності на підприємствах АПК : навч. посібник. Харків : Майдан, 2016. 362 с.
116. Поліщук М. І., Паламарчук О. Д. Вплив позакореневих підживлень на продуктивність гібридів кукурудзи. *Сільське господарство та лісівництво*. 2016. №. 4. С. 102-109.
117. Поляков В. І., Карпук Л. М. Фотосинтетична продуктивність кукурудзи залежно від агротехнологічних заходів. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2020. Вип. 28. С. 209–221.

118. Поляков В. І., Карпук Л. М., Павліченко А. А., Петракова О. О. Особливості формування висоти рослин кукурудзи залежно від густоти та удобрення. *Agricultural sciences*. 2021. № 5(92). С. 58–62.
119. Провальчук В. П., Васильев В. Г., Бойко Л. В., Зосимов В. Д. Сборник методов исследования почв и растений. Київ : Труд-ГриПол ХХІ вік, 2010. 252 с.
120. Рибалка О. І., Червоніс М. В., Моргун Б. В., Починок В. М., Поліщук С. С. Генетичні та селекційні критерії створення сортів зернових культур спирто-дистилятного напрямку технологічного використання зерна. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2013. Т. 45. № 1. С. 3–20.
121. Саблук П. Т. Технології та нормативи витрати на вирощування кормових культур /за ред. П. Т. Саблука, Д. І. Мазоренка. Київ: ННЦІАВ, 2009. 756 с.
122. Савранчук В. В., Семеняка І. М., Курцев В. О., Сало Л. В. Ефективність мікробних препаратів та макро- й мікродобрив при вирощуванні зернових культур в умовах ризикованого землеробства. *Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області*. 2011. Вип. 11. С. 153–163.
123. Сатановська І. П. Використання регуляторів росту та хелатних добрив при формуванні продуктивності різностиглих гібридів кукурудзи на силос. *Корми і кормовиробництво*. 2013. Вип. 76. С. 218–224.
124. Сатановська І. П. Вплив обробки насіння та позакореневих підживлень на біометричні показники рослин кукурудзи. *Корми і кормовиробництво*. 2013. Вип. 75. С. 62–67.
125. Сатановська І. П. Накопичення сухої речовини середньостиглого гібрида кукурудзи Моніка 350 МВ залежно від впливу метеорологічних факторів. Матеріали VII Міжнародної конференції «Кормовиробництво в умовах глобальних економічних відносин та прогнозованих змін клімату», м. Вінниця, 24–25 вересня 2013 р., С. 52–53.
126. Сичук Л. Виробництво біопалива: вплив мінеральних добрив та ширини міжрядь на продуктивність цукрового сорго. *Цукрові буряки*. 2012. № 4. С. 15–16.

127. Скринник Я. Т. Особливості застосування комплексних рідких добрив при вирощуванні кукурудзи в умовах північного Степу України. *Бюлетень інституту зернового господарства*. 2010. № 39. С.103–106.
128. Соколік С.П. Перспективи використання кукурудзи на зерно в якості біопалива. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2016. Вип. 173. С. 168–176.
129. Стратегія розвитку Житомирської області на період до 2027 року. URL: https://aprdep.zht.gov.ua/files/e-region/2019/Strategia/project_soc-econom!.pdf
130. Танчик С. П., Усатий Г. Ю. Водоспоживання рослинами кукурудзи залежно від мінерального живлення і густоти стояння рослин. *Збірник наукових праць ННЦ “Інститут землеробства УААН”*. 2006. Вип. 3–4. С. 21–26.
131. Танчик С. П., Центило Л. В. Особливості удобрення кукурудзи за її вирощування на чорноземі типовому в Лісостепу України. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2017. № 269. С. 74–83.
132. Тараріко Ю. О. Системи біоенергетичного аграрного виробництва. Київ : ДІА, 2009. 16 с.
133. Ткаліч Ю. І., Циліорик О. І., Козечко В. І. Оптимізація застосування мікродобрив та регуляторів росту рослин у посівах кукурудзи Північного Степу України. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. 2017. № 4 (46). С. 20–25.
134. Ткачук К. С., Богдан Т. З. Азотний обмін і адаптація рослин до умов живлення. Київ : Аверс. 2000. 200 с.
135. Томашук О. В., Каменщук Б. Д. Фотосинтетична продуктивність посівів кукурудзи під впливом різних систем землеробства в умовах Лісостепу правобережного. *Таврійський науковий вісник*, 2018. Вип. 100. Т. 2. С. 91–97.

136. Удобрення овочевих та баштанних культур: монографія [за ред. В. Ю. Гончаренка і С. І. Корнієнка]. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД». 2015. 370 с.
137. Уманець Н. О., Гуляев Б. І. Фізіологічні особливості та стійкість генотипів кукурудзи до дії стресових чинників. *Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть*. 2001. Т. 1. С. 340–355.
138. Філон В. І. Мікродобрива. Довідник : Харків, 2018. 242 с.
139. Харченко О. В. Основи програмування врожаїв сільськогосподарських культур. Суми : Університетська книга, 2003. 293 с.
140. Хоміна В. Я., Іванишин О. С. Біометричні показники рослин різностиглих гібридів кукурудзи залежно від удобрення в умовах Лісостепу Західного. *Modern engineering and innovative technologies*. Karlsruhe, Germany, 2021. № 15(2). С. 25–33.
141. Чабан В. І., Клявзо С. П., Подобед О. Ю. Вміст хімічних елементів в рослинах кукурудзи та оцінка мінерального живлення. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2014. № 7. С. 27–32.
142. Шевченко Л. А., Чмель О. П., Хоменко С. В. Вплив мікродобрив та рістрегуляторів на продуктивність гібридів кукурудзи в умовах півночі України. *Аграрні інновації*. 2020. № 4. С. 73–78.
143. Шевченко Н. В. Урожайність зерна кукурудзи залежно від обробки насіння та позакореневих підживлень. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2018. Вип. 3 (73).
144. Шерстобоева О. В. Роль мікробіологічних препаратів у підвищенні продуктивності рослин екологічно безпечними засобами. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2004. Т. 36. № 3. С. 229–238.
145. Шинкарук Л. М. Вплив макро- та мікродобрив на врожайність кукурудзи. *Вісник ЛНАУ*. 2021. № 25. С. 162–166.
146. Шпаар Д., Гіпаки К., Дрегер Д. Кукурудза. Вирощування, збирання, консервування і використання / під редакцією Д. Шпаара. Київ : Альфа-стевія ЛТД. 2009. 396 с.

147. Щокін А.Р., Колесник Ю.В., Новак А.Г., Циганков С.П. Перспективи виробництва і застосування біопалива в Україні. *Енергоінформ.* № 48. 2004. С. 6.
148. Ярошко М. Значення фосфору у живленні сільськогосподарських культур. *Агроном.* 2013. № 3. С. 30–32.
149. Amaducci S., Monti A., Venturi G. Non-structural carbohydrates and fibre components in sweet and fibre sorghum as affected by low and normal input techniques. *Ind. Crops Prod.* 2004. № 20. pp.111–118.
150. Amanullah K. M. K., Azam K., Imran K., Zahir S., Zahid H. Growth and yield response of maize (*Zea mays* L.) to foliar NPK-fertilizers under moisture stress condition. *Soil Environ.* 2014. № 33(2). pp.116–123.
151. Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Machmüller A., Hopfner-Sixt K., Bodiroza V., Hrbek R., Friedel J., Pötsch E, Wagenristl H. Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations,” *Bioresource Technology.* 2007. № 98(17). pp. 3204–3212.
152. Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Zollitsch W., Mayer K., Gruber L. Biogas production from maize and dairy cattle manure—influence of biomass composition on the methane yield,” *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 2007. №118(1). pp. 173–182.
153. Amon T., Kryvoruchko V., Amon B. Methane production from maize, grassland and animal manures through anaerobic digestion. *Sustainable Organic Waste Management for Environmental Protection and Food Safety II*, 2004. pp. 175–182.
154. Arodudu O. T., Helming K., Voinov A., Wiggering H. Integrating agronomic factors into energy efficiency assessment of agro-bioenergy production – A case study of ethanol and biogas production from maize feedstock. *Appl. Energy.* 2017. 25. P.236.
155. Arun Kumar M. A, Gali S. K., Hebsur N. S. Effect of different levels of N.P.K on growth and yield parameters of sweet corn. *J. Agric. Sci.* 2007. № 20 (1). pp. 41–43.

156. Barbanti L., Di Girolamo G., Grigatti M., Bertin L., Ciavatta C. Anaerobic digestion of annual and multi-annual biomass crops. *Industrial Crops and Products*. 2014. № 56. Pp.137–144.
157. Basisdaten bioenergie Deutschland 2022. URL: https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2022/Mediathek/broschuere_basisdaten_bioenergie_2022_06_web.pdf
158. Bassam N. Energy plant species-their use and impact on environment. London, 1998. 200 p.
159. Bernardi A. C. de Campos, G. B. de Souza, Polidoro J. C., Perdigão Paiva P. R., Monte M. B. de Mello. Yield, quality components, and nitrogen levels of silage corn fertilized with urea and zeolite. *Communications in soil science and plant analysis*. 2011. № 42. 11. pp. 1266–1275.
160. Biofuels. URL: <https://reports.shell.com/sustainability-report/2021/achieving-net-zero-emissions/fuelling-mobility/biofuels.html>
161. Biomethane production potentials in the EU. URL: <https://gasforclimate2050.eu/publications/>
162. Biomethane zoning and assessment of the possibility and conditions for connecting of biomethane producers to the gas transmission and distribution systems of Ukraine”. URL: <https://saf.org.ua/library/1548/>
163. Boehmel C., Lewandowski I., Claupein W., 2008. Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. *Agric. Syst.* № 96. pp. 224–236.
164. Borjesson P., Tufvesson L. M. Agricultural crop-based biofuels – resource efficiency and environmental performance including direct land use changes. *J Clean Prod.* 2011. № 19. pp.108–120.
165. Budzyński W., Szempliński W., Parzonka A., Sałek T. Agricultural productivity, energy efficiency and costs associated with growing selected energy crops for biogas production. In: Gołaszewski, J. (Ed.), *Production and Processing of Agricultural and Aquatic Biomass for Biogas Plants and*

- Gasification Units. University Warmia and Mazury in Olsztyn, Olsztyn. 2014. pp. 11–282.
166. Çarpici E. B., Çelik N., Bayram G. Yield and quality of forage maize as influenced by plant density and nitrogen rate. *Turkish Journal of Field Crops*. 2010. № 15(2). pp. 128–132.
167. Cattani M., Sartori A., Bondesan V., Bailoni L. In vitro degradability, gas production, and energy value of different hybrids of sorghum after storage in mini-silos. *Ann. Anim. Sci.* 2016. № 16. pp. 769–777.
168. Chipman R. B., Raper C. D., Patterson R. P. Allocation of nitrogen and dry matter for two soybean genotypes in response to water stress during reproductive growth. *Journal of Plant Nutrition*. 2001. № 24. pp. 873–884.
169. Dalla Marta A., Mancini M., Orlando F., Natali F., Capecchi L., Orlandini S. Sweet sorghum for bioethanol production: crop responses to different water stress levels. *Biomass Bioenergy*. 2014. № 64. pp. 211–219.
170. Dandikas V, Heuwinkel H, Lichti F, Drewes JE, Koch K. Correlation between biogas yield and chemical composition of energy crops. *Bioresource Technology*. Vol. 174. pp. 316–320.
171. Dar R. A., Dar E. A., Kaur A., Phutela U. G. Sweet sorghum-a promising alternative feedstock for biofuel production. *Renewable Sustainable Energy Rev.* 2018. № 82. pp. 4070–4090.
172. Derieux M., Bonhomme R. Heat unit requirements for maize hybrids in Europe. Results of the European FAO sub-network. II. Period from silking to maturity. *Maydica*. 1982. № 27. pp. 79–96.
173. Dixon R. C. Foliar fertilization improves nutrient use efficiency. *Fertilizer Technology*. 2003. № 40. pp. 22–23.
174. Dubis B., Budzyński W.S., Bórawski P., Bułkowska K. Energy efficiency of crops grown for biogas production in a large-scale farm in Poland. *Energy*. 2016. № 109. pp. 277–286.
175. Dubrovskis V., Adamovics A. Bioener_etikas horizonti (Horizons of bioenergetics). *Jelgava : Latvia University of Agriculture*, 2012. 352 p.

176. Dweikat I. Handbook of Bioenergy Crop Plants-Sorghum. 2012. Vol. 19. pp. 483–501.
177. EBA 2021. “Statistical Report of the European Biogas Association 2021” Brussels, Belgium, November 2021.
178. Gheysari M., Mirlatifi S.M. Bannayan M., Homae M., Hoogenboom G. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. *Agric. Water Manag.* 2009. 96. pp. 809–821.
179. Gilmanov M., Yrezhepov A., Dosbaev N., Ibragimova S., Esmambetov A. The Unique Organic Microfertilizer as the New Prospective Compound for Agroecology. In *Advanced Materials Research*. Trans Tech Publications, Ltd. 2013. Vol. 650. pp. 156–161.
180. Godin B., Mayer F., Agneessens R., Gerin P., Dardenne P., Delfosse P., Delcarte J. Biochemical methane potential prediction of plant biomasses: Comparing chemical composition versus near infrared methods and linear versus non-linear models. *Bioresource Technology*. 2015. № 175. pp. 382–390.
181. Golinski P, Jokś W. Chemical and biological properties of grasses and biogas production. *Grassland Science in Poland*. 2007. 10. pp. 37–47.
182. Gonzalez-Garcia S., Baucells F., Feijoo G., Moreira M. T. Environmental performance of sorghum, barley and oat silage production for livestock feed using life cycle assessment. *Resour. Conserv. Recycl.* 2016. № 111. pp. 28–41.
183. Grabovskyi, M., Lozinskyi, M., Grabovska, T. Roubík H. Green mass to biogas in Ukraine – bioenergy potential of corn and sweet sorghum. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2023. 13. 3309–3317.
184. Grabovskyi M., Fedoruk Yu., Pravdyva L., Grabovska T., Kurylo V., Fedoruk N. Influence of agrotechnical and chemical measures on weediness in sweet Sorghum crops (*Sorghum Bicolor*) and the output of biogas. *EurAsian Journal of BioSciences*. 2018. №12. pp. 347–353.
185. Grabovskyi M., Kucheruk P., Pavlichenko K., Roubík H. Influence of macronutrients and micronutrients on maize hybrids for biogas production.

Environmental Science and Pollution Research. 2023. 30. pp. 70022–70038.

186. Handbook of Maize: Its Biology J. L. Bennetzen and S.C. Hake (eds.). Springer Science Business Media, LLC, 2009. pp. 145–344.
187. Heiermann M., Plöchl M., Linke B., Schelle H., Herrmann C. Biogas Crops – Part I: Specifications and Suitability of Field Crops for Anaerobic Digestion. Agricultural Engineering International. *CIGR Journal*. 2009. Vol. XI. pp. 1087–1093.
188. Horst E. H., Bumbieris Junior V. H., Neumann M., Souza A. M. de, Venancio B. J., Stadler Junior E. S., Dochwat A., Czelusniak C., Santos, L. C. Agronomic characteristics of maize hybrids (*Zea mays*, L.) at different maturity stages. *Semina: Ciências Agrárias*. 2020. № 41(5sup11). pp. 2273–2284.
189. Hou P., Gao Q., Xie R., Li S., Meng Q., Kirkby E.A., Romheld V., Muller T., Zhang F., Cui Z. Grain yields in relation to N requirement: Optimizing nitrogen management for spring maize grown in China. *Field Crops Res*. 2012. 129. pp. 1–36.
190. Список країн за використанням землі. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Список_країн_за_використанням_землі
191. Hutňan M., Špalková V., Bodík I., Kolesárová N., Lazor M. Biogas Production from Maize Grains and Maize Silage. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2010. № 19(2). pp. 323–329.
192. Islam M. N., Paul R. K., Anwar T. M. K., Mian M. A. K. Effects of foliar application of N fertilizer on grain yield of maize. *Thai Journal of Agriculture Science*. 1996. № 29. pp. 323–328.
193. Jankowski K. J., Dubis B., Sokólski M. M., Załuski D., Bórawski P., Szempliński W. Productivity and energy balance of maize and sorghum grown for biogas in a large-area farm in Poland: An 11-year field experiment. *Industrial Crops and Products*. 2020. Vol. 148. pp. 312–326.

194. Kaiser F., Diepolder M., Eder J., Hartmann S., Prestele H., Gerlach R., Ziehfrend G., Gronauer A. Biogasertrage verschiedener nachwachsender Rohstoffe. *Landtechnik*. 2004. № 4. pp. 224–225.
195. Karlen D. L., Camp C. R., Zublena J. P. Plant density, distribution, and fertilizer effects on yield and quality of irrigated corn silage. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 1985. № 16:1. pp. 55–70.
196. Karpenstein-Machan M., Weber C. Energiepflanzen für Biogasanlagen. Veränderungen in der Fruchtfolge und der Bewirtschaftung von Ackerflächen in Niedersachsen. *Naturschutz Landschaftsplanung*. 2010. № 42. pp. 312–320.
197. Kołodziej B., Antonkiewicz J., Stachyra M., Bielińska E.J., Wiśniewski J., Luchowska K., Kwiatkowski C. Use of sewage sludge in bioenergy production – n a case study on the effects on sorghum biomass production. *Eur. J. Agron.* 2015. № 69. pp. 63–74.
198. Kowalczyk-Juško A., Marczuk A., Dach J., Szmigielski M., Zarajczyk J., Józwiakowski K., Kowalczuk J., Andrejko D., Ślaska-Grzywna B., Leszczyński N. Thermochemical and biochemical maize biomass conversion for power engineering. *Przemysł Chemiczny*. 2015. № 94(2). pp. 178–181.
199. Krzystek L., Wajszczuk K., Pazera A. The Influence of Plant Cultivation Conditions on Biogas Production: Energy Efficiency. *Waste Biomass Valor.* 2020. №11. pp. 513–523.
200. Lærke P. E., Askegaard M., Møller H. B., Jørgensen U. Choose the right crops for the biogas plant. *Bioenergy Research*. 2008. 26. pp. 8–9.
201. Lamptey S., Yeboah S., Li L. Response of Maize Forage Yield and Quality to Nitrogen Fertilization and Harvest Time in Semi-arid Northwest China. *Asian Journal of Research in Agriculture and Forestry*. 2018. №1(2). pp. 1–10.
202. Landbeck M., Schmidt W. Energy maize-goals, strategies and first breeding successes. Proceedings of the First International Energy Farming Congress, Papenburg, Germany, March 2–4 2005. Kompetenzzentrum Nachwachsende Rohstoffe, Werlte.

203. Lehmann E. Marktfruchte oder Kosubstrat – odert beides? *Mais*. 2006. № 2. pp. 54–56.
204. Lewandowski I., Heinz A. Delayed harvest of miscanthus – influences on biomass quantity, quality, and environmental impacts of energy production. *European Journal of Agronomy*. 2003. № 19. pp. 45–63.
205. Li Y., Zhang R., Liu G., Chen C., He Y., Liu X. Comparison of methane production potential, biodegradability, and kinetics of different organic substrates. *Bioresource Technology*. 2013. № 149. pp. 565–569.
206. Liimatainen A., Sairanen A., Jaakkola S., Kokkonen T., Kuoppala K., Jokiniemi T., Mäkelä P.S.A. Yield, Quality and Nitrogen Use of Forage Maize under Different Nitrogen Application Rates in Two Boreal Locations. *Agronomy*. 2022. № 12(4). P. 887.
207. Luna-del Risco M., Normak A., Orupõld K. Biochemical methane potential of different organic wastes and energy crops from Estonia. *Agronomy Research*. 2011. № 9 (1–2). pp. 331–342.
208. Lundin K., Hanson C., Hamberger L. Are the new microfertilization techniques associated with an increased genetic risk to the offspring? *Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica*. 1998. № 77. pp. 792–798.
209. Mahmood A., Honermeier B. Chemical composition and methane yield of sorghum cultivars with contrasting row spacing. *Field Crops Research*. 2012. №128. pp. 27–33.
210. Marchenko T. Yu. Innovative elements of cultivation technology of corn hybrids of different FAO groups in the conditions of irrigation. Natural sciences and modern technological solutions: knowledge integration in the XXI century: collective monograph Lviv-Torun: Liha-Pres, 2019. pp. 137–153.
211. Marchenko T., Vozhegova R., Lavrynenko Y., Zabara P. Biometric Indicators of lines – parents of maize hybrids of different FAO groups depending on biological treatment on irrigation. *Plant Breeding and Seed Production*. 2021. № 119. pp.135–146.

212. Masse L., Masse D. I., Beaudette V., Muir M. Size distribution and composition of particles in raw and anaerobically digested swine manure. *Transactions of the ASAE*. 2005. № 48(5). pp. 1943–1949.
213. Monlau F., Barakat A., Steyer J. P., Carrere H. Comparison of seven types of thermo-chemical pretreatments on the structural features and anaerobic digestion of sunflower stalks. *Bioresource Technology*. 2012. № 120. pp. 241–247.
214. Mursec B., Vindis P., Janzekovic M., Brus M., Cus F. Analysis of different substrates for processing into biogas. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2009. № 37(2). pp. 652–659.
215. Muylle H., Van Hullea S., De Vlieghe A., Baert J., Van Bockstaele, E. Roldán-Ruiz I. Yield and energy balance of annual and perennial lignocellulosic crops for biorefinery use: a 4-year field experiment in Belgium. *Eur. J. Agron.* 2015. № 63. pp. 62–70.
216. Nassab A. D. M., Amon T., Kaul H. P. Competition and yield in intercrops of maize and sunflower for biogas. *Industrial Crops and Products*. 2011. № 34(1). pp. 1203–1211.
217. Negri M., Bacenetti J., Massimo B., Manfredini A., Cantore A., Bocchi S. Biomethane production from different crop systems of cereals in Northern Italy. *Biomass & Bioenergy*. 2014. № 63. pp. 321–329.
218. Nilahyane A., Islam M.A., Mesbah A.O., Garcia A. Effect of Irrigation and Nitrogen Fertilization Strategies on Silage Corn Grown in Semi-Arid Conditions. *Agronomy*. 2018. № 8. P. 208.
219. Oechsner, H., Lemmer, A., Neuberg, C., 2003. Feldfruchte als Garsubstrat in Biogasanlagen. *Landtechnik*. № 58. pp. 146–147.
220. Oleszek M., Matyka M. Determination of the efficiency and kinetics of biogas production from energy crops through nitrogen fertilization levels and cutting frequency. *BioResources*. 2018. 13(4). pp. 8505–8528.

221. Oleszek M., Matyka M. Energy Use Efficiency of Biogas Production Depended on Energy Crops, Nitrogen Fertilization Level, and Cutting System. *Bioenerg. Res.* 2020. 13. pp. 1069–1081.
222. Oslaj M, Mursec B, Vindis P. Biogas production from maize hybrids. *Biomass and Bioenergy.* 2010. Vol. 34, Is.11. pp. 1538–1545.
223. Palamarchuk V., Honcharuk I., Honcharuk T., Telekalo N. Effect of the elements of corn cultivation technology on bioethanol production under conditions of the right-bank forest-steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology.* 2018. № 8(3). pp. 47–53.
224. Palamarchuk V., Krychkovskyi V., Honcharuk I., Telekalo N. The modeling of the production process of high-starch corn hybrids of different maturity groups. *European Journal of Sustainable Development.* 2021. Vol. 10. № 1. pp. 584–598.
225. Pikul J. L., Hammack L. Jr., Riedell W. E. Corn yield, nitrogen use, and corn rootworm infestation of rotations in the northern Corn Belt. *Agron. J.* 2005. 97. pp. 854–863.
226. Polyakov V. I., Karpuk L. M., Prymak I. D., Pavlichenko A. A., Karaulna V. M., Yezerkovksa L.V., Kulyk R. M., Shokh S. S. Influence of seeding density and fertilizing on water consumption, growth and development of maize hybrids. *Ukrainian Journal of Ecology.* 2021. № 11(1). pp. 32–37.
227. Prade T., Svensson S.E., Andersson A., Mattsson J.E. Biomass and energy yield of industrial hemp grown for biogas and solid fuel. *Biomass Bioenergy.* 2011. № 35. pp. 3040–3049.
228. Rahimizadeh M., Kashani A., Zare-Feizabadi A., Koocheki A., Nassiri-Mahallati M. Nitrogen use efficiency of wheat as affected by preceding crop, application rate of nitrogen and crop residues. *Australian Journal of Crop Science.* 2010. № 3. pp. 89–93.
229. Recep İ. N., Alpaslan Kuşvuran İ. İ., Ahmet Demirbaş V. T. Effects of different organic materials on forage yield and quality of silage maize (*Zea mays* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry.* 2014. № 38. pp. 23–31.

230. Rezaeian M., Rahimi Petroudid E., Mohsenic M., Hossein Haddadid M. Effects of row spacing, nitrogen and potassium fertilizer on yield of silage corn after wheat harvesting. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*. 2014. Vol 4. Is.3. pp. 358–361.
231. Safdarian M., Razmjoo J., M. Dehnavi M. Effect of nitrogen sources and rates on yield and quality of silage corn. *Journal of Plant Nutrition*. 2014. 37:4. pp. 611–617.
232. Samarappuli D., Berti M. T. Intercropping forage sorghum with maize is a promising alternative to maize silage for biogas production. *J. Cleaner Prod.* 2018. № 194. pp. 515–524.
233. Scarlat N., Dallemand J. F., Fahl F. Biogas : Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*. 2018. № 129. Pp. 457–472.
234. Schittenhelm S. Chemical composition and methane yield of maize hybrids with contrasting maturity. *European Journal of Agronomy*. 2008. Vol. 29. pp. 72–79.
235. Schittenhelm S. Effect of drought stress on yield and quality of maize/sunflower and maize/sorghum intercrops for biogas production. *J. Agron. Crop Sci.* 2010. № 196. pp. 253–261.
236. Schorling M., Enders C., Voigt C.A. Assessing the cultivation potential of the energy crop *Miscanthus × giganteus* for Germany. *Gcb Bioenergy*. 2015. № 7. pp. 763–773.
237. Seppälä M. Biogas Production from High-Yielding Energy Crops in Boreal Conditions. Academic dissertation of the University of Jyväskylä, 2013. 92 p.
238. Shanti K.V.P., Rao M.R., Reddy M.S., Sarma R.S. Response of maize (*Zea mays*) hybrid and composite to different levels of nitrogen. *Indian J. Agric. Sci.* 1997. № 67. pp. 424–425.
239. Shynkaruk L., Lykhochvor V. Influence of fertilization and foliar feeding on maize grain qualitative indicators. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11. № 6. pp. 113–116.

240. Sivčev I., Kljajić P., Kostić M., Sivčev L., Stanković S. Management of western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*). *Pestic. Fitomed.* 2012. № 27. pp. 189–201.
241. Smith C.W., Frederiksen R.A. Sorghum: Origin, History, Technology, and Production. John Wiley and Sons. 2000. New York. 236 p.
242. Szempliński W., Parzonka A., Salek T. Yield and energy efficiency of biomass production of some species of plants grown for biogas. *Acta Sci Pol Agricultura.* 2014. № 13(3). pp. 56–64.
243. Theuretzbacher F., Bauer A., Lizasoain J., Becker M., Rosenau T., Potthast A. Potential of different Sorghum bicolor (L. Moench) varieties for combined ethanol and biogas production in the Pannonian climate of Austria. *Energy.* 2013. № 55. pp. 107–113.
244. Thomsen S. T., Spliid H., Østergård H. Statistical prediction of biomethane potentials based on the composition of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology.* 2014. № 154. pp. 80–86.
245. Tollenaar M. The influence of developmental patterns on grain yield of maize. In: Sinha S.K., Sane P.V., Bhargava S.C., Agrawal P.K. (Eds.), *Proc. Int. Congress of Plant Physiol.*, New Delhi, India, 1990. pp. 18–193.
246. Triolo J. M., Sommer S. G., Møller H. B., Weisbjerg M. R., Jiang X. Y. A new algorithm to characterize biodegradability of biomass during anaerobic digestion: Influence of lignin concentration on methane production potential. *Bioresource Technology.* 2011. № 102(20). pp. 9395–9402.
247. Tsavkelova E. A., Netrusov A. I. Biogas production from cellulose-containing substrates: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology.* 2012. № 48(5). pp. 421–433.
248. Vildflush I. R., Kukresh S. P., Ionas V. A. Agrochemistry. Minsk, 1995. 480 p.
249. Vozhehova R., Marchenko T., Piliarska O., Lavrynenko Y., Halchenko N., Lykhovyd P.. Grain corn product yield and gross value depending on the hybrids and application of biopreparations in the irrigated conditions. *Scientific Papers*

Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development. 2021. Vol. 21. Is. 4. pp. 611–619.

250. Wagner A. O., Lins P., Malin C., Reitschuler C., Illmer P. Impact of protein, lipid- and cellulose-containing complex substrates on biogas production and microbial communities in batch experiments. *Sci. Total Environ.* 2013. pp. №458–460.
251. Weiland P., Bilitewski B., Werner P., Dornack C., Stegmann R., Rettenberger G., Faulstich M., Wittmaier M. Trockenfermentation in der Landwirtschaft- Welche Substrate und Techniken finden Anwendung. Anaerobe biologische Abfallbehandlung. Dresden, 2008. pp. 235–245.
252. Zegada-Lizarazu W., Zatta A., Monti A. Water uptake efficiency and above- and belowground biomass development of sweet sorghum and maize under different water regimes. *Plant Soil.* 2012. № 351. pp. 47–60.

ДОДАТКИ

**Динаміка зміни висоти рослин середньоранніх гібридів кукурудзи
залежно від застосування макро- та мікродобрів, діб**

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива*	2019 р.			2020 р.			2021 р.		
			11–12 листіків	Цвітінн я качанів	Воскова стигліст ь зерна	11–12 листіків	Цвітінн я качанів	Восков а стигліст ь зерна	11–12 листіків	Цвітінн я качанів	Воско ва стиглі сть зерна
Амарос	Без добрів	1	134,0	187,0	209,0	142,0	195,0	216,0	140,0	193,0	213,0
		2	136,0	192,0	212,0	144,0	200,0	220,0	142,0	196,0	216,0
		3	136,0	191,0	212,0	144,0	201,0	220,0	142,0	196,0	216,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	139,0	196,0	214,0	147,0	205,0	224,0	144,0	203,0	222,0
		2	141,0	199,0	219,0	149,0	207,0	226,0	147,0	206,0	225,0
		3	142,0	200,0	219,0	148,0	208,0	227,0	147,0	206,0	226,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	145,0	203,0	222,0	151,0	211,0	227,0	150,0	208,0	226,0
		2	147,0	205,0	225,0	153,0	213,0	232,0	151,0	211,0	229,0
		3	146,0	205,0	225,0	153,0	214,0	233,0	152,0	212,0	230,0
Богатир	Без добрів	1	136,0	196,0	212,0	144,0	202,0	219,0	143,0	199,0	218,0
		2	138,0	198,0	215,0	146,0	205,0	224,0	145,0	203,0	223,0
		3	138,0	198,0	215,0	146,0	205,0	225,0	145,0	203,0	222,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	145,0	205,0	221,0	153,0	213,0	230,0	148,0	210,0	227,0
		2	146,0	207,0	225,0	156,0	215,0	234,0	150,0	213,0	232,0
		3	146,0	207,0	225,0	156,0	216,0	235,0	150,0	214,0	233,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	150,0	209,0	228,0	158,0	216,0	236,0	152,0	214,0	233,0
		2	152,0	212,0	232,0	160,0	220,0	239,0	154,0	217,0	237,0
		3	153,0	212,0	232,0	159,0	221,0	240,0	154,0	218,0	238,0
НІР ₀₅ , для	А	1,6	3,1	2,7	1,4	3,4	2,6	1,4	3,2	2,8	
	В	2,7	4,0	3,8	2,6	4,3	3,9	2,5	4,5	3,6	
	С	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	

*Примітка, тут і далі в таблицях. Без застосування (контроль); 2. Обробка насіння YaraVita Terrosyn NP+Zn (5 л/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га); 3. Обробка насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га)

**Динаміка зміни висоти рослин середньостиглих гібридів кукурудзи
залежно від застосування макро- та мікродобрів, діб**

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	2019 р.			2020 р.			2021 р.		
			11–12 листіків	Цвітінн я качанів	Воскова стигліст ь зерна	11–12 листіків	Цвітінн я качанів	Восков а стигліст ь зерна	11–12 листіків	Цвітінн я качанів	Воскова стигліст ь зерна
КВС 381	Без добрів	1	142,0	200,0	216,0	149,0	208,0	226,0	147,0	205,0	224,0
		2	144,0	202,0	220,0	153,0	211,0	229,0	149,0	207,0	227,0
		3	144,0	202,0	220,0	153,0	211,0	229,0	149,0	207,0	227,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	149,0	211,0	226,0	157,0	219,0	235,0	154,0	217,0	232,0
		2	151,0	213,0	230,0	160,0	223,0	239,0	156,0	220,0	236,0
		3	151,0	213,0	230,0	160,0	224,0	240,0	156,0	221,0	237,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	153,0	218,0	232,0	163,0	225,0	241,0	160,0	220,0	239,0
		2	155,0	220,0	236,0	165,0	228,0	245,0	162,0	223,0	242,0
		3	155,0	220,0	236,0	165,0	229,0	246,0	162,0	224,0	243,0
Каріфолс	Без добрів	1	146,0	209,0	224,0	153,0	214,0	231,0	151,0	212,0	230,0
		2	148,0	213,0	227,0	155,0	216,0	234,0	153,0	214,0	233,0
		3	148,0	213,0	227,0	155,0	217,0	234,0	153,0	213,0	233,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	151,0	215,0	232,0	159,0	225,0	244,0	158,0	221,0	239,0
		2	152,0	217,0	235,0	161,0	228,0	249,0	160,0	225,0	243,0
		3	152,0	217,0	235,0	161,0	227,0	248,0	160,0	224,0	242,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	156,0	220,0	240,0	165,0	231,0	248,0	162,0	224,0	246,0
		2	158,0	223,0	244,0	167,0	235,0	253,0	164,0	226,0	250,0
		3	158,0	223,0	243,0	167,0	234,0	252,0	164,0	226,0	250,0
НІР ₀₅ , для	А	1,6	3,1	2,7	1,4	3,4	2,6	1,4	3,2	2,8	
	В	2,7	4,0	3,8	2,6	4,3	3,9	2,5	4,5	3,6	
	С	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	

Динаміка формування листкової поверхні рослин середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрів, тис. м²/га

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	2019 р.			2020 р.			2021 р.		
			Цвітінн я качанів	Молочн а стигліст ь зерна	Воскова стигліст ь зерна	Цвітінн я качанів	Молочн а стигліст ь зерна	Восков а стигліст ь зерна	Цвітінн я качанів	Молочн а стигліст ь зерна	Воско ва стиглі сть зерна
Амарос	Без добрив	1	32,4	35,0	33,8	40,0	36,5	35,7	37,3	36,0	35,1
		2	34,5	37,3	36,0	42,8	38,8	37,9	39,6	38,1	37,1
		3	35,0	37,6	36,3	43,4	39,2	38,3	40,3	38,3	37,3
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	39,0	38,4	37,1	41,0	39,0	38,1	38,4	38,5	37,5
		2	40,5	40,2	38,8	42,6	41,5	40,6	41,5	41,1	40,1
		3	41,0	40,7	39,3	42,9	41,8	40,9	42,0	41,5	40,5
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	40,2	40,0	38,6	42,5	41,6	40,7	41,7	40,6	39,6
		2	43,0	42,7	41,2	44,8	43,8	42,8	43,8	43,0	41,9
		3	43,4	43,0	41,5	45,3	44,2	43,2	44,1	43,3	42,2
Богатир	Без добрив	1	37,0	36,4	35,2	38,2	37,8	37,0	37,6	37,3	36,4
		2	39,8	39,5	38,2	41,3	40,4	39,5	40,7	40,0	39,0
		3	40,1	39,9	38,5	41,6	40,9	40,0	41,0	40,3	39,3
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	39,4	38,4	37,1	41,5	39,5	38,6	40,6	39,2	38,2
		2	41,6	41,0	39,6	43,2	42,3	41,4	42,4	41,6	40,6
		3	41,8	41,4	40,0	43,6	42,8	41,9	42,8	42,0	41,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	41,9	41,7	40,3	43,0	42,4	41,5	42,6	42,0	41,0
		2	44,1	43,5	42,0	45,5	44,5	43,5	45,0	44,3	43,2
		3	44,4	43,8	42,3	46,0	44,9	43,9	45,5	44,8	43,7
НІР ₀₅ , для	А	1,4	0,8	1,2	0,6	0,7	1,1	0,6	0,8	1,1	
	В	1,8	1,7	2,0	1,4	1,8	1,9	1,7	1,6	1,5	
	С	0,3	0,2	0,4	0,1	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	

Динаміка формування листкової поверхні рослин середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрих, тис. м²/га

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	2019 р.			2020 р.			2021 р.		
			11–12 листків	Цвітіння качанів	Воскова стиглість зерна	11–12 листків	Цвітіння качанів	Воскова стиглість зерна	11–12 листків	Цвітіння качанів	Воскова стиглість зерна
КВС 381	Без добрив	1	41,0	39,8	38,4	42,6	41,1	40,2	41,9	40,8	39,8
		2	43,5	43,0	41,5	44,8	44,4	43,4	44,4	43,9	42,8
		3	43,8	43,4	41,9	45,3	44,9	43,9	44,8	44,5	43,4
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	42,6	41,6	40,2	43,8	43,0	42,1	43,1	42,6	41,5
		2	45,9	45,4	43,9	47,1	46,5	45,5	46,6	46,0	44,9
		3	46,4	45,9	44,3	47,6	47,0	46,0	47,0	46,4	45,2
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	44,2	43,7	42,2	45,7	45,0	44,0	44,9	44,5	43,4
		2	47,5	47,1	45,5	48,7	48,2	47,1	48,4	47,4	46,2
		3	47,9	47,5	45,9	49,3	48,6	47,5	48,9	47,9	46,7
Каріфолс	Без добрив	1	42,0	41,4	40,0	43,2	42,8	41,9	42,4	42,1	41,0
		2	44,4	43,5	42,0	45,6	44,9	43,9	45,0	44,3	43,2
		3	44,8	43,9	42,4	46,0	45,5	44,5	45,7	44,7	43,6
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	43,8	43,6	42,1	45,2	44,8	43,8	44,7	44,1	43,0
		2	46,4	45,9	44,3	47,6	47,0	46,0	47,3	46,6	45,4
		3	46,7	46,3	44,7	48,2	47,5	46,5	47,8	47,0	45,8
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	45,5	44,8	43,3	46,8	46,0	45,0	46,0	45,7	44,6
		2	47,7	47,5	45,9	49,1	49,3	48,2	48,6	48,4	47,2
		3	48,2	47,9	46,3	49,6	49,8	48,7	49,1	48,8	47,6
НІР ₀₅ , для	А	1,4	0,8	1,2	0,6	0,7	1,1	0,6	0,8	1,1	
	В	1,8	1,7	2,0	1,4	1,8	1,9	1,7	1,6	1,5	
	С	0,3	0,2	0,4	0,1	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	



Варіанти дослідів: 1. Без застосування мікродобрив; 2. Обробка насіння «YaraVita Terosyn NP + Zn» (5 л/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га); 3. Обробка насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га)

Частка стебла, листків, зерна та обгорток і стрижнів качана в гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу молочної стиглості зерна (середнє за середнє за 2019–2021 рр.), % на суху речовину.



Варіанти дослідів: 1. Без застосування мікродобрив; 2. Обробка насіння YaraVita Teprosyn NP+Zn (5 л/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га); 3. Обробка насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) + обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га)

Частка стебла, листків, зерна та обгорток і стрижнів качана в гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу молочно-воскової стиглості зерна (середнє за середнє за 2019–2021 рр.), % на суху речовину.

Вміст сухої речовини в окремих частинах та в рослинах середньоранніх гібридів кукурудзи у фазу молочної стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), %

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	Стебло	Листки	Обгортки і стрижень качана	Зерно	У рослині
Амарос	Без добрив	1	22,6	29,3	27,8	50,6	32,6
		2	22,3	29,5	27,8	50,4	32,5
		3	22,4	30,1	27,6	50,5	32,7
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	22,4	28,8	27,3	50,2	32,2
		2	22,5	28,5	27,6	49,8	32,1
		3	22,1	29,1	27,7	50,1	32,3
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	21,8	28,1	26,7	49,5	31,5
		2	21,5	28,2	27,0	49,3	31,5
		3	21,9	28,4	26,7	49,8	31,7
Богатир	Без добрив	1	24,2	31,4	29,3	51,5	34,1
		2	24,0	31,5	29,0	51,0	33,9
		3	23,8	31,1	29,5	51,3	33,9
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	23,5	30,8	28,4	50,4	33,3
		2	23,7	30,2	28,7	50,6	33,3
		3	23,4	30,7	28,7	50,9	33,4
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	23,0	30,6	28,6	50,2	33,1
		2	23,2	31,0	28,4	50,3	33,2
		3	23,4	30,5	28,3	50,5	33,2

Вміст сухої речовини в окремих частинах та у рослинах середньостиглих гібридів кукурудзи у фазу молочної стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), %

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	Стебло	Листки	Обгортки і стрижень качана	Зерно	У рослині
КВС 381	Без добрив	1	23,6	31,2	28,6	51,2	33,7
		2	23,1	31,0	28,2	51,5	33,5
		3	23,5	31,5	28,4	51,1	33,6
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	23,2	30,6	28,2	51,0	33,3
		2	23,4	30,4	28,4	50,7	33,2
		3	23,0	30,4	28,1	50,8	33,1
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	23,2	29,8	27,8	50,4	32,8
		2	23,0	29,8	28,0	50,3	32,8
		3	23,1	30,2	28,1	50,2	32,9
Каріфолс	Без добрив	1	23,3	31,4	29,4	52,0	34,0
		2	23,5	31,5	30,7	51,5	34,3
		3	23,0	31,9	30,9	50,3	34,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	22,9	31,1	29,8	50,9	33,7
		2	23,0	31,0	29,6	51,0	33,7
		3	22,7	30,8	30,4	51,2	33,8
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	22,4	31,0	29,0	50,1	33,1
		2	22,1	31,0	29,2	49,8	33,0
		3	22,5	30,7	29,5	50,0	33,2

Вміст сухої речовини в окремих частинах та в рослинах середньоранніх гібридів кукурудзи у фазу молочно-воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), %

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	Стебло	Листки	Обгортки і стрижень качана	Зерно	У рослині
Амарос	Без добрив	1	22,9	34,2	31,0	56,6	36,2
		2	23,0	34,0	31,8	56,2	36,3
		3	22,7	33,8	31,3	56,4	36,1
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	22,6	34,0	30,6	56,2	35,9
		2	22,4	33,4	31,0	56,1	35,7
		3	22,7	33,6	30,8	56,0	35,8
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	22,0	33,2	30,5	55,4	35,3
		2	22,4	33,1	30,4	55,3	35,3
		3	23,1	33,1	30,2	55,0	35,4
Богатир	Без добрив	1	24,3	35,0	33,0	58,5	37,7
		2	24,0	35,6	32,9	58,7	37,8
		3	24,2	35,4	33,1	58,2	37,7
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	23,8	34,8	32,4	58,4	37,4
		2	23,5	35,0	32,6	58,3	37,4
		3	23,8	34,8	32,4	58,5	37,4
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	23,5	34,6	32,0	58,0	37,0
		2	23,4	34,4	32,1	57,9	37,0
		3	23,5	34,2	32,2	58,0	37,0

Вміст сухої речовини в окремих частинах та в рослинах середньостиглих гібридів кукурудзи у фазу молочно-воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), %

Гібрид	Макродобрива	Мікродобрива	Стебло	Листки	Обгортки і стрижень качана	Зерно	У рослині
КВС 381	Без добрив	1	23,3	35,4	32,4	57,6	37,2
		2	23,0	35,1	32,0	57,8	37,0
		3	23,4	35,2	32,5	57,8	37,2
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	22,8	34,8	31,7	57,1	36,6
		2	22,6	34,5	31,9	57,0	36,5
		3	22,5	34,8	31,6	57,3	36,6
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	22,3	34,0	31,0	56,8	36,0
		2	22,4	33,9	31,4	56,5	36,1
		3	22,4	34,1	31,2	56,7	36,1
Каріфолс	Без добрив	1	23,4	34,8	32,1	57,9	37,1
		2	23,0	35,0	32,4	58,2	37,2
		3	23,5	34,6	32,5	57,6	37,1
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	22,8	34,0	31,9	57,2	36,5
		2	22,6	34,3	32,0	57,6	36,6
		3	22,7	34,2	32,0	57,4	36,6
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	22,3	33,8	31,5	57,0	36,2
		2	22,1	33,6	31,4	56,8	36,0
		3	22,4	34,0	31,3	56,9	36,2

Урожайність сухої маси середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу молочної стиглості зерна, т/га

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	2019 р.	2020 р.	2021 р.
Амарос	Без добрив	1	7,8	13,8	12,1
		2	8,1	13,9	12,4
		3	8,2	14,1	12,6
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	8,8	15,1	13,8
		2	9,0	15,1	14,1
		3	9,4	15,1	14,1
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	9,6	15,1	14,3
		2	9,7	15,8	14,2
		3	10,2	15,9	14,2
Богатир	Без добрив	1	8,2	14,7	13,4
		2	8,5	14,9	13,7
		3	8,8	14,8	13,7
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	9,5	16,2	15,1
		2	9,7	16,4	15,4
		3	10,1	16,6	15,5
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	10,1	16,4	15,5
		2	10,3	16,7	15,7
		3	10,5	16,8	15,8
NIP ₀₅ , т/га		А	0,4	0,5	0,6
		В	0,4	0,5	0,2
		С	0,1	0,1	0,1
		АВ	1,6	1,7	1,8
		АВС	2,1	2,4	2,3

Урожайність сухої маси середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу молочної стиглості зерна, т/га

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	2019 р.	2020 р.	2021 р.
КВС 381	Без добрив	1	9,0	15,4	13,6
		2	9,2	15,6	13,8
		3	9,7	15,6	14,2
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	9,9	16,7	15,2
		2	10,1	17,1	15,4
		3	10,3	17,2	15,5
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	10,3	17,5	15,6
		2	10,1	17,7	15,8
		3	10,4	17,7	15,9
Каріфолс	Без добрив	1	9,7	14,7	14,8
		2	9,8	14,8	15,3
		3	9,9	15,1	14,6
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	10,4	17,5	15,7
		2	10,1	17,9	15,9
		3	10,4	18,1	16,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	10,7	17,7	16,5
		2	10,9	18,0	16,8
		3	11,0	18,3	16,8
NIP ₀₅ , т/га		А	0,4	0,5	0,6
		В	0,4	0,5	0,2
		С	0,1	0,1	0,1
		АВ	1,6	1,7	1,8
		АВС	2,1	2,4	2,3

Урожайність сухої маси середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу молочно-воскової стиглості зерна, т/га

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	2019 р.	2020 р.	2021 р.
Амарос	Без добрив	1	9,0	16,3	14,0
		2	9,1	16,5	14,5
		3	9,3	16,6	14,6
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	10,0	18,1	16,0
		2	10,5	17,7	16,2
		3	10,7	17,7	16,6
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	10,7	18,7	16,5
		2	10,8	18,8	17,3
		3	11,3	18,9	16,9
Богатир	Без добрив	1	9,3	17,2	15,9
		2	9,7	17,2	16,3
		3	9,9	17,4	16,4
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	11,2	19,2	18,1
		2	11,3	19,6	18,7
		3	11,5	19,7	18,7
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	11,5	19,3	18,6
		2	11,8	19,7	18,8
		3	12,0	19,8	18,9
NIP ₀₅ , т/га		А	0,3	0,5	0,3
		В	0,3	0,4	0,4
		С	0,1	0,2	0,1
		АВ	1,3	1,8	1,3
		АВС	2,3	2,7	2,6

Урожайність сухої маси середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу молочно-воскової стиглості зерна, т/га

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	2019 р.	2020 р.	2021 р.
КВС 381	Без добрив	1	10,1	17,7	16,6
		2	10,4	18,1	16,5
		3	10,6	18,1	17,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	11,3	19,6	17,7
		2	11,6	20,2	18,4
		3	11,8	20,3	18,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	11,7	20,2	17,9
		2	11,9	20,5	18,2
		3	12,1	20,5	18,3
Каріфолс	Без добрив	1	10,8	16,8	17,0
		2	11,0	17,3	17,4
		3	11,2	17,4	17,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	11,4	20,1	18,3
		2	11,5	20,4	18,8
		3	11,6	20,5	18,9
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	12,2	20,5	19,2
		2	12,3	20,9	19,3
		3	12,5	21,0	19,5
NIP ₀₅ , т/га		А	0,3	0,5	0,3
		В	0,3	0,4	0,4
		С	0,1	0,2	0,1
		АВ	1,3	1,8	1,3
		АВС	2,3	2,7	2,6

Урожайність сухої маси середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу воскової стиглості зерна, т/га

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	2019 р.	2020 р.	2021 р.
Амарос	Без добрив	1	8,7	15,4	13,8
		2	8,8	15,5	14,4
		3	9,0	15,7	14,6
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	9,9	17,2	15,7
		2	10,1	17,1	16,0
		3	10,3	17,1	16,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	10,6	17,4	16,5
		2	10,8	17,6	16,8
		3	11,0	17,6	16,9
Богатир	Без добрив	1	9,0	16,9	15,7
		2	9,3	17,2	16,0
		3	9,5	17,3	16,1
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	10,6	18,9	18,2
		2	10,9	19,2	18,5
		3	11,1	19,2	18,6
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	11,3	19,1	17,8
		2	11,6	19,5	18,0
		3	11,8	19,6	18,3
NIP ₀₅ , т/га		А	0,3	0,5	0,5
		В	0,3	0,4	0,3
		С	0,1	0,2	0,1
		АВ	1,7	1,9	1,5
		АВС	2,6	2,8	2,3

Урожайність сухої маси середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу воскової стиглості зерна, т/га

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	2019 р.	2020 р.	2021 р.
КВС 381	Без добрив	1	9,9	17,5	16,4
		2	10,2	18,3	16,6
		3	10,3	17,9	16,7
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	10,9	19,4	18,3
		2	11,2	19,9	18,1
		3	11,4	20,0	18,2
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	11,5	19,8	18,3
		2	11,6	20,0	18,6
		3	11,8	20,1	18,7
Каріфолс	Без добрив	1	10,3	16,2	16,9
		2	10,5	16,5	17,1
		3	10,7	16,5	17,4
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	11,1	19,4	18,3
		2	11,2	19,7	18,7
		3	11,4	20,1	18,8
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	11,7	20,1	18,9
		2	11,9	20,1	19,2
		3	12,1	20,5	19,2
NIP ₀₅ , т/га		A	0,3	0,5	0,5
		B	0,3	0,4	0,3
		C	0,1	0,2	0,1
		AB	1,7	1,9	1,5
		ABC	2,6	2,8	2,3

Урожайність зеленої маси середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу молочної стиглості зерна, т/га

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	2019 р.	2020 р.	2021 р.
Амарос	Без добрив	1	23,6	41,2	37,1
		2	24,4	42,0	38,5
		3	24,8	42,2	38,6
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	27,2	45,8	43,2
		2	28,0	46,4	43,9
		3	28,5	46,5	44,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	29,6	48,2	45,4
		2	30,3	49,0	46,2
		3	30,8	49,2	46,4
Богатир	Без добрив	1	24,3	42,5	40,0
		2	25,1	43,1	40,8
		3	25,5	43,2	41,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	28,6	48,5	46,3
		2	29,3	49,1	47,2
		3	29,7	49,2	47,4
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	30,4	49,2	47,6
		2	31,1	50,0	48,3
		3	31,7	50,2	48,5
NIP ₀₅ , т/га		А	0,5	0,6	0,6
		В	1,6	1,8	2,0
		С	0,2	0,4	0,4
		АВ	2,2	2,4	2,3
		АВС	2,9	3,3	3,0

Урожайність зеленої маси середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу молочної стиглості зерна, т/га

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	2019 р.	2020 р.	2021 р.
КВС 381	Без добрив	1	26,7	45,0	41,8
		2	27,4	45,9	42,3
		3	28,0	46,0	42,5
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	29,8	50,1	46,5
		2	30,6	51,2	47,2
		3	31,2	51,4	47,4
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	31,2	52,3	47,9
		2	31,7	52,9	48,5
		3	32,2	53,0	48,8
Каріфолс	Без добрив	1	27,9	42,4	44,2
		2	28,5	42,9	44,7
		3	29,0	43,0	44,8
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	30,2	51,4	48,3
		2	30,6	52,0	48,9
		3	30,9	52,2	49,1
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	32,4	53,1	50,7
		2	32,8	53,9	51,4
		3	33,3	54,1	51,5
NIP ₀₅ , т/га		А	0,5	0,6	0,6
		В	1,6	1,8	2,0
		С	0,2	0,4	0,4
		АВ	2,2	2,4	2,3
		АВС	2,9	3,3	3,0

Урожайність зеленої маси середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу молочно-воскової стиглості зерна, т/га

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	2019 р.	2020 р.	2021 р.
Амарос	Без добрив	1	25,0	43,7	39,1
		2	25,5	44,5	40,6
		3	25,9	44,6	40,7
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	28,4	48,7	45,5
		2	29,3	49,1	46,3
		3	29,8	49,2	46,4
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	30,9	51,3	47,9
		2	31,7	52,1	48,7
		3	32,2	52,2	48,9
Богатир	Без добрив	1	25,4	45,0	42,2
		2	26,2	45,7	43,0
		3	26,7	45,9	43,2
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	29,9	51,5	48,8
		2	30,6	52,2	49,8
		3	31,0	52,3	50,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	31,8	52,1	50,2
		2	32,5	53,1	50,9
		3	33,1	53,4	51,1
NIP ₀₅ , т/га		А	0,4	1,0	0,8
		В	1,3	1,5	1,7
		С	0,1	0,3	0,3
		АВ	2,0	2,5	2,1
		АВС	2,8	3,2	3,2

Урожайність зеленої маси середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу молочно-воскової стиглості зерна, т/га

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	2019 р.	2020 р.	2021 р.
КВС 381	Без добрив	1	27,9	47,6	44,1
		2	28,6	48,7	44,6
		3	29,3	48,9	44,8
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	31,1	53,0	49,0
		2	32,0	54,4	49,8
		3	32,6	54,6	50,0
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	32,6	55,4	50,3
		2	33,1	56,1	51,1
		3	33,7	56,3	51,5
Каріфолс	Без добрив	1	29,2	44,8	46,5
		2	29,8	45,5	47,1
		3	30,3	45,7	47,2
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	31,5	54,4	50,9
		2	32,0	55,2	51,6
		3	32,3	55,5	51,8
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	33,9	56,2	53,5
		2	34,3	57,1	54,2
		3	34,8	57,5	54,3
NIP ₀₅ , т/га		A	0,4	1,0	0,8
		B	1,3	1,5	1,7
		C	0,1	0,3	0,3
		AB	2,0	2,5	2,1
		ABC	2,8	3,2	3,2

Урожайність зеленої маси середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу воскової стиглості зерна, т/га

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	2019 р.	2020 р.	2021 р.
Амарос	Без добрив	1	23,2	41,1	36,4
		2	23,6	41,8	37,8
		3	24,0	42,0	37,9
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	26,3	45,8	42,4
		2	27,1	46,1	43,1
		3	27,6	46,3	43,2
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	28,6	48,2	44,6
		2	29,3	49,0	45,4
		3	29,8	49,0	45,6
Богатир	Без добрив	1	23,5	42,3	39,3
		2	24,3	43,0	40,1
		3	24,7	43,1	40,3
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	27,6	48,4	45,5
		2	28,3	49,1	46,4
		3	28,7	49,2	46,6
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	29,4	49,0	46,8
		2	30,1	49,9	47,5
		3	30,6	50,2	47,7
NIP ₀₅ , т/га		А	0,5	0,5	0,6
		В	1,2	1,6	1,6
		С	0,3	0,4	0,3
		АВ	2,3	2,7	2,7
		АВС	2,9	3,4	3,5

**Урожайність зеленої маси середньостиглих гібридів кукурудзи
залежно від застосування макро- та мікродобрив у фазу воскової стиглості
зерна, т/га**

Гібрид (фактор А)	Макродобрива (фактор В)	Мікродобрива (фактор С)	2019 р.	2020 р.	2021 р.
КВС 381	Без добрив	1	25,8	44,8	41,1
		2	26,5	45,8	41,6
		3	27,1	45,9	41,7
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	28,8	49,8	45,7
		2	29,6	51,1	46,4
		3	29,9	51,4	46,6
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	30,2	52,1	46,9
		2	30,7	52,7	47,7
		3	31,1	52,9	48,0
Каріфолс	Без добрив	1	27,0	42,1	43,4
		2	27,6	42,8	43,9
		3	28,0	42,9	44,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1	29,2	51,2	47,5
		2	29,6	51,9	48,1
		3	29,9	52,2	48,2
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1	31,3	52,8	49,8
		2	31,7	53,7	50,5
		3	32,2	54,0	50,6
NIP ₀₅ , т/га		А	0,5	0,5	0,6
		В	1,2	1,6	1,6
		С	0,3	0,4	0,3
		АВ	2,3	2,7	2,7
		АВС	2,9	3,4	3,5

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКЕ ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ

«УКРАЇНА»

Код ЄДРПОУ 30687673

Україна, 22710, Вінницька обл., Іллінецький р-н, село Тягун, ВУЛИЦЯ МИРУ, будинок 1

АКТ

**впровадження завершеної науково-технічного досягнення (НТД) як
результат закінченої науково-дослідної роботи (НДР)**

1. **Назва НДР, що впроваджується:** вирощування гібрида кукурудзи на силос КВС 381 з передпосівною обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) і обприскуванням кукурудзи у фазі 3-5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) на фоні внесення N₁₂₀P₉₀K₉₀
2. **Якою науково-дослідною установою (вищим навчальним закладом) одержано НТД та запропоновано до впровадження, автори:** Білоцерківський національний аграрний університет, Павліченко К.В.
3. **Ким і коли прийнято рішення про впровадження НТД:** Вченою радою Агробіотехнологічного факультету Білоцерківського національного аграрного університету (протокол №2 від 30.09.22 р.)
4. **Назва господарства і його адреса, де проводиться впровадження:** СТОВ «УКРАЇНА»
5. **Рік і обсяг впровадження:** 72 га
6. **Отримано фактичний економічний ефект від впровадження на одиницю (га, голову, машину і т.п.) і на весь обсяг впровадження:** порівняно з прийнятою в господарстві технологією вирощування кукурудзи на силос отримано на всю площу додаткового прибутку 43200 грн.

Акт складено 02 вересня 2022 року

Представник Білоцерківського НАУ

Керівник господарства

здобувач

Павліченко К.В.

Сенчук В.М.



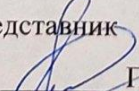
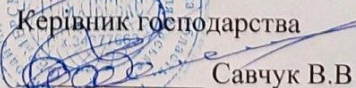
Фермерське господарство**«Пляхівське»**

Код ЄДРПОУ 34377663

Україна, 22132, Вінницька обл., Хмельницький р-н, село Пляхова, вул. Лісова, будинок 31-А**АКТ****впровадження завершеної науково-технічного досягнення (НТД) як
результат закінченої науково-дослідної роботи (НДР)**

- 1. Назва НДР, що впроваджується:** вирощування гібрида кукурудзи на силос Каріфолс з передпосівною обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) і обприскуванням кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) на фоні внесення $N_{120}P_{90}K_{90}$
- 2. Якою науково-дослідною установою (вищим навчальним закладом) одержано НТД та запропоновано до впровадження, автори:** Білоцерківський національний аграрний університет, Павліченко К.В.
- 3. Ким і коли прийнято рішення про впровадження НТД:** Вченою радою Агробіотехнологічного факультету Білоцерківського національного аграрного університету (протокол №2 від 30.09.22 р.)
- 4. Назва господарства і його адреса, де проводиться впровадження:** ФГ «Пляхівське»
- 5. Рік і обсяг впровадження:** 125 га
- 6. Отримано фактичний економічний ефект від впровадження на одиницю (га, голову, машину і т.п.) і на весь обсяг впровадження:** порівняно з прийнятою в господарстві технологією вирощування кукурудзи на силос отримано на всю площу додаткового прибутку 75000 грн.

Акт складено 19 вересня 2022 року

Представник Білоцерківського НАУ
здобувач  Павліченко К.В.Керівник господарства
 Савчук В.В.

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКЕ ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ

«МРІЯ»

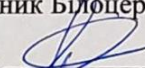
Код ЄДРПОУ 03732117

Україна, 22133, Вінницька обл., Козятинський р-н, село Махнівка, ВУЛИЦЯ КИЇВСЬКА, будинок 1

АКТ

**впровадження завершеної науково-технічного досягнення (НТД) як
результат закінченої науково-дослідної роботи (НДР)**

1. **Назва НДР, що впроваджується:** вирощування гібридів кукурудзи на силос компанії КВС (Амарос, Богатир, КВС 381, Каріфолс) з передпосівною обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) і обприскуванням кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га)
2. **Якою науково-дослідною установою (вищим навчальним закладом) одержано НТД та запропоновано до впровадження, автори:** Білоцерківський національний аграрний університет, Павліченко К.В.
3. **Ким і коли прийнято рішення про впровадження НТД:** Вченою радою Агробіотехнологічного факультету Білоцерківського національного аграрного університету (протокол №2 від 30.09.22 р.)
4. **Назва господарства і його адреса, де проводиться впровадження:**
СТОВ «Мрія»
5. **Рік і обсяг впровадження:** 64 га
6. **Отримано фактичний економічний ефект від впровадження на одиницю (га, голову, машину і т.п.) і на весь обсяг впровадження:** порівняно з прийнятою в господарстві технологією вирощування кукурудзи на силос отримано на всю площу додаткового прибутку 22400 грн.
7. Акт складено 08 вересня 2022 року

Представник Білоцерківського НАУ
здобувач  Павліченко К.В.

Керівник господарства
 Буренко С. П.



ФЕРМЕРСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО**«СВІТАНОК 07»**

Код ЄДРПОУ 35100247

Україна, 13513, Житомирська обл., Попільнянський р-н, село Суцанка, ВУЛИЦЯ ІРПІНСЬКА, будинок 41 А

АКТ**впровадження завершеної науково-технічного досягнення (НТД) як
результат закінченої науково-дослідної роботи (НДР)**

- 1. Назва НДР, що впроваджується:** вирощування гібридів кукурудзи на силос КВС 381 і Каріфолс з передпосівною обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т) і обприскуванням кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) на фоні внесення $N_{120}P_{90}K_{90}$
- 2. Якою науково-дослідною установою (вищим навчальним закладом) одержано НТД та запропоновано до впровадження, автори:** Білоцерківський національний аграрний університет, Павліченко К.В.
- 3. Ким і коли прийнято рішення про впровадження НТД:** Вченою радою Агробіотехнологічного факультету Білоцерківського національного аграрного університету (протокол №2 від 30.09.22 р.)
- 4. Назва господарства і його адреса, де проводиться впровадження:** Фермерське господарство «Світанок 07»
- 5. Рік і обсяг впровадження:** 146 га
- 6. Отримано фактичний економічний ефект від впровадження на одиницю (га, голову, машину і т.п.) і на весь обсяг впровадження:** порівняно з прийнятою в господарстві технологією вирощування кукурудзи на силос отримано на всю площу додаткового прибутку 87600 грн.

Акт складено 29 серпня 2022 року

Представник Білоцерківського НАУ

здобувач

Павліченко К.В.

Керівник господарства

Запальський В.І.



СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**Наукові праці, у яких опубліковано основні наукові результати дисертації:**

1. **Павліченко К.В.**, Грабовський М.Б. Формування біометричних показників та накопичення сировини надземної маси гібридами кукурудзи під впливом макро- і мікродобрив. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 123. С. 98-111. DOI: 10.32851/2226-0099.2022.123.14 (планування та проведення досліджень, аналіз і узагальнення результатів, написання статті, частка участі – 50 %).

2. **Павліченко К.В.**, Грабовський М.Б. Урожайність зеленої і сухої маси гібридів кукурудзи та вихід біогазу залежно від застосування макро- і мікродобрив. *Зрошуване землеробство*. 2022. Вип. 77. С. 79-85. DOI: 10.32848/0135-2369.2022.77.17 (планування та проведення досліджень, аналіз і узагальнення результатів, написання статті, частка участі – 50 %).

3. Павліченко К.В. Формування елементів структури врожаю гібридами кукурудзи на силос під впливом макро і мікродобрив. *Аграрні інновації*. 2022. № 12. С. 77-84. DOI: 10.32848/agrar.innov.2022.12.12.

4. Грабовський М. Б., **Павліченко К.В.**, Козак Л. А., Качан Л. М. Енергетична ефективність вирощування гібридів кукурудзи для виробництва біогазу за використання макро- і мікродобрив. *Зернові культури*. 2022. № 1. С. 100-107. DOI: 10.31867/2523-4544/0212 (планування та проведення досліджень, аналіз і узагальнення результатів, написання статті, частка участі – 40 %).

Стаття у науковому виданні, включеному до міжнародної наукометричної бази даних Scopus:

1. Grabovskyi M., Kucheruk P., **Pavlichenko K.**, Roubík H. Influence of macronutrients and micronutrients on maize hybrids for biogas production. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. 30. p. 70022–70038. DOI:

10.1007/s11356-023-27235-3 (планування та проведення досліджень, аналіз і узагальнення результатів, написання статті, частка участі – 30 %).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Грабовський М.Б., Городецький О.С., **Павліченко К.В.** Формування продуктивності кукурудзи на силос залежно від рівня мінерального живлення. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, лісовому та садово-парковому господарстві», м. Біла Церква, 30 жовтня 2020 року. С. 3–5 (авторство 40 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез).

2. Грабовський М. Б., **Павліченко К. В.** Перспективи вирощування біоенергетичних гібридів кукурудзи компанії KWS для виробництва біогазу. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи еко-інноваційного розвитку сільськогосподарського виробництва», м. Полтава, 20 листопада 2020 року. С. 114-116 (авторство 50 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез).

3. Павліченко К.В. Кореляційні зв'язки між кількісними ознаками та виходом біогазу у гібридів кукурудзи. Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів. с. Центральне, 23 квітня 2021 року. С. 82.

4. Грабовський М.Б., Козак Л.А., **Павліченко К.В.** Зміна фотосинтетичних показників посівів кукурудзи під впливом макро- і мікро добрив. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Аграрна освіта та наука : досягнення і перспективи розвитку», м. Біла Церква, 4-5 березня 2021 року. С. 187-189 (авторство 40 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез).

5. Грабовський М. Б., **Павліченко К. В.** Накопичення сухої маси рослинами кукурудзи залежно від удобрення та позакореневого підживлення. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів, молодих учених та спеціалістів, м. Харків, 3 грудня 2021 року. С. 26–27

(авторство 50 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез).

6. Грабовський М.Б., **Павліченко К.В.** Вплив макро- та мікродобрив на тривалість міжфазних періодів рослин кукурудзи. Матеріали міжнародної наукової Інтернет-конференції «Наукові здобутки селекціонерів ННЦ «Інститут землеробства НААН» – на благо майбутнього, присвячена 120-річчю від дня народження вченого, аграрія, селекціонера Данила Лихваря», м. Вінниця, 8 вересня 2022 року. С. 83-86 *(авторство 50 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез).*

7. Грабовський М.Б., Roubík Нупек, Кучерук П.П., **Павліченко К.В.** Розрахунковий вихід біогазу і метану у гібридів кукурудзи залежно від застосування добрив. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, електроенергетиці, лісовому та садово-парковому господарстві», м. Біла Церква, 20 жовтня 2022 року. С. 22-24 *(авторство 35 %, отримано експериментальні дані, проведено аналіз результатів, написання тез).*