

УРОЖАЙНІСТЬ ЗЕЛЕНОЇ І СУХОЇ МАСИ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ТА ВИХІД БІОГАЗУ ЗАЛЕЖНО ВІД ЗАСТОСУВАННЯ МАКРО- І МІКРОДОБРІВ

ПАВЛІЧЕНКО К.В. – здобувач ступеня доктора філософії

<https://orcid.org/0000-0002-5469-9684>

Білоцерківський національний аграрний університет

ГРАБОВСЬКИЙ М.Б. – доктор сільськогосподарських наук, професор

<https://orcid.org/0000-0002-8494-7896>

Білоцерківський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Аграрно-промисловий комплекс України, що виробляє велику кількість органічних відходів, має ресурси для виробництва біогазу, здатного замінити 1,5 млрд кубометрів газу на рік. У разі широкого використання кукурудзяного силосу цей потенціал можна збільшити до 18 млрд кубометрів у перерахунку на природний газ [1].

Кількість виробленого біогазу залежить від фізико-хімічних властивостей сировини. Для прогнозування виробництва біогазу необхідно розробити нові методи, проаналізувати потенціал виробництва біогазу із рослинних решток та гною [2]. В Україні виробництво біогазу з агропромислової сировини можна оцінити в 1,6 млн тонн умовного палива. З огляду на сучасні технологічні можливості використання зеленої маси як сировини для виробництва біогазу потенціал біогазового палива можна вважати досить високим.

Виробництво біогазу є ефективною та привабливою технологією завдяки наявності значного сировинного потенціалу, сприятливих природно-кліматичних умов та низької вартості цього виду енергії. Проте Україна перебуває на початковому етапі впровадження відновлюваних джерел енергії, а науково-технічні та економічні проблеми виробництва та використання біогазу вивчені не досить [3]. Тому важливим є дослідження технологій вирощування біоенергетичних культур, у тому числі і кукурудзи, як сировини для виробництва біогазу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кукурудза натеper є найбільш використовуваною енергетичною культурою для виробництва біогазу через високий вихід біомаси, хороший коефіцієнт перетворення на метан і легке зберігання силосної маси [4].

Вирощування і зберігання силосної кукурудзи технічно розвинене і широко оптимізоване. Як субстрат для виробництва біогазу вирощують спеціальні енергетичні гібриди кукурудзи з урожайністю сухої маси 18–25 т/га. Це орієнтовно становить 5300–9000 м³/га метану залежно від гібрида, умов вирощування та фази збирання кукурудзи. Крім того, виробництво біогазу з кукурудзи відзначається також найвищим рівнем скорочення викидів парникових газів і високою економією пального [5].

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, підвищує вихід сухої речовини з площі посіву [6].

З огляду на нинішню високу вартість мінеральних добрив оптимізована система удобрення кукурудзи повинна базуватись на основі внесення помірних доз. Тобто в нинішніх умовах система удобрення повинна бути динамічною і враховувати не тільки біологічні особливості сучасних гібридів та їх генетичний потенціал, а також ще і соціально-економічні умови [7]. У разі вирощування культур для біоенергетичних цілей використання мінеральних добрив є ключовим питанням для підвищення продуктивності та рентабельності цього виробництва [8].

Досліджень щодо впливу мінеральних добрив на енергоефективність виробництва біогазу з енергетичних культур дуже мало, і вони в основному показують вплив мінерального живлення на врожай біомаси. Водночас встановлено, що диференційовані дози мінеральних добрив можуть впливати не лише на вихід біомаси, а й на хімічний склад біомаси та її біорозкладність, а отже, і на ефективність виробництва біогазу [9].

Підвищений рівень азотних добрив збільшує вихід біогазу за рахунок позитивних змін у хімічному складі біомаси, головним чином за рахунок зниження вмісту лігніну та покращення зброджування рослинних субстратів [10].

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 N₁₀₀P₈₀K₈₀ дозволяє отримати урожайність зеленої та сухої маси гібрида кукурудзи Моніка 350 МВ 50,1 і 14,6 т/га, що вище на 18,8 і 5,1 т/га порівняно з контролем [11].

Залежно від якості ґрунту найвищий вихід біогазу отримано з кукурудзяного силосу з рівнем азотного живлення 80 кг/га – 194,5–315,3 м³/т зеленої маси. Технології вирощування сільськогосподарських культур з високим рівнем внесення азотних добрив виявилися найбільш ефективними [12].

В умовах Польщі підвищені дози азотних добрив (80–160 кг/га) 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 [13].

До недавнього часу застосування мікродобрив на різних сільськогосподарських культурах розглядалось як додатковий і необов'язковий технологічний захід. Завдяки численним вегетаційним і польовим дослідженням вдалося довести важливість усіх можливих елементів живлення. І натеper використання мікродобрив входить в основну систему удобрення культур, у тому числі кукурудзи [14–15].

У Північному Степу України використання повного комплексу регуляторів росту рослин та мікродобрив (Вимпел + Оракул мультикомплекс, Оракул біоцинк) та 7–8 листків (Вимпел + Оракул мультикомплекс) забезпечує стійку тенденцію до зростання польової схожості насіння, підвищення посухостійкості й жаростійкості рослин кукурудзи в 1,5 раза та врожайність зерна на 12,1–14,5% вищу стосовно контролю [16].

Застосування мікродобрив та регуляторів росту на посівах кукурудзи позитивно впливає на ріст та розвиток рослин і, як наслідок, на формування урожаю. Не залежно від групи стиглості гібридів, мікродобрива та регулятори росту збільшують урожайність зерна гібридів кукурудзи на 0,38–1,26 т/га з приростом урожайності 3,8–10,0%. Найбільш відчутна реакція від застосування мікродобрив та регуляторів росту встановлена у середньостиглих та середньопізніх гібридів Каховський (ФАО 380), Арабат (ФАО 430), ДН Гетера (ФАО 420) [17].

Використання концентрованого (650 г стильбіту) або природного (470 г цеоліту) із сечовиною підвищує урожайність сухої речовини кукурудзи на силос та концентрацію азоту в листках [18].

Натеper питання оптимізації мінерального живлення гібридів кукурудзи на силос для виробництва біогазу є ще не досить вивченим і потребує подальших досліджень.

Метою дослідження було визначення впливу макро- і мікродобрив на урожайність зеленої і сухої маси гібридів кукурудзи та вихід біогазу.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводилися в 2019–2021 рр. у СТОВ «Птахоплемзавод Коробівський» Андрушівського району Житомирської області. Повторність досліду чотириразова. Ґрунт – чорнозем опідзолений середньосуглинистий. Розміщення варіантів – систематичне. Площа облікової ділянки – 184 м².

Дослідження проводилися за такою схемою: Фактор А. Гібриди кукурудзи. 1. Амарос (ФАО 230); 2. Богатир (ФАО 290); 3. КВС 381 (ФАО 350); 4. Каріфолс (ФАО 380). Фактор В. Дози добрив, кг/га д.р. 1. Без добрив (контроль); 2. N₉₀P₆₀K₆₀; 3. N₁₂₀P₉₀K₉₀. Фактор С. Мікродобрива. 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).

Агротехніка вирощування кукурудзи на силос була загальноприйнятною для умов Правобережного Лісостепу України, крім факторів, що вивчалися. Сівбу гібридів кукурудзи проводили у 3-й декаді квітня за температури ґрунту на глибині загортання

насіння 8–10°C. Основну частину мінеральних добрив вносили восени поділяючно, решту азотних – перед сівбою. Добрива Yara застосовували шляхом обробки насіння перед сівбою та у позакореневе підживлення у фазі 3–5 листків кукурудзи. Збирання кукурудзи на силос проводили поділяючно у фазі воскової стиглості зерна. Вміст сухої речовини визначали шляхом відбирання рослин масою до 1 кг, після чого їх ретельно подрібнювали і з цього зразка відбирали 2 наважки по 10 г кожна, які висушували до абсолютно сухої маси у сушильній шафі за температури +105°C. Облік урожайності зеленої маси визначали зважуванням рослин із облікової ділянки з наступним перерахунком на один гектар. Вихід біогазу отримано розрахунковим методом згідно з методичними рекомендаціями [19]. Статистичний аналіз результатів досліджень проводили за методикою В.О. Єщенка [20].

Результати досліджень. Згідно з результатами досліджень встановлено, що 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. 1 і 2).

Виявлено, що на урожайність зеленої маси кукурудзи досить суттєво впливали макродобрива. У фазу молочно-воскової стиглості зерна на контрольному варіанті у гібридів Амарос, Богатир, КВС 381 і Каріфолс вона становила 36,6, 38,1, 40,5 і 40,7 т/га, за внесення N₉₀P₆₀K₆₀ вона зростала у середньому на 11,4–15,7%, а за N₁₂₀P₉₀K₉₀ – 15,0–21,0%.

Наші дослідження свідчать, що проведення передпосівної обробки насіння і листове підживлення препаратами Yara також є ефективним засобом підвищення урожайності кукурудзи на силос.

На варіантах без застосування цих препаратів урожайність зеленої маси становила у фазу молочної стиглості зерна у середньоранніх гібридів 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. На 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 гібрида зростала по відповідних періодах обліків на 1,2–3,8%, 1,5–2,9% і 1,3–3,2%. У разі обробки 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. Слід відзначити відсутність достовірної різниці між 2 і 3 варіантами застосування мікродобрив, вона була в межах похибки НР₀₅.

Максимальні показники урожайності зеленої маси отримано у гібрида Каріфолс у разі внесення

Таблиця 1 – Динаміка зміни урожайності зеленої маси середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- і мікродобрих (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 , т/га		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

*Примітка 1. Без застосування (контроль); 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)

Таблиця 2 – Динаміка зміни урожайності зеленої маси середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від застосування макро- і мікродобрих (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 , т/га		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

*Примітка 1. Без застосування (контроль); 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)

$N_{120}P_{90}K_{90}$ і обробки насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т)+обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) – 48,9 т/га, що вище за контрольний варіант на 7,8 т/га або 20,8%.

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 [21]. Тому вивчення вмісту та динаміки накопичення сухої речовини в органах рослин кукурудзи за періодами росту і розвитку у разі використання різних доз азотних добрив має наукове та практичне значення [22].

Накопичення сухої речовини гібридами кукурудзи відбувалося аналогічно до формування зеленої маси: збільшення цього показника відзначено від молочної до молочно-воскової стиглості зерна, а у фазу воскової стиглості – поступове зменшення. У фазу молочної стиглості зерна у середньоранніх гібридів Амарос і Богатир на контрольному варіанті урожайність сухої речовини становила 11,1–12,4 т/га, у фазу молочно-воскової стиглості зерна – 13,0–14,6 т/га, воскової стиглості – 12,6–14,3 т/га. У середньостиглих гібридів КВС 381 і Каріфолс – 12,7–13,2, 14,8–15,2, 14,6–14,9 т/га (табл. 3 і 4). У разі внесення $N_{90}P_{60}K_{60}$ урожайність сухої маси зростала у середньому по гібридах на 1,3–2,0 т/га або на 9,9–14,6%, а $N_{120}P_{90}K_{90}$ на 1,7–2,9 т/га або 12,4–17,9%.

На варіантах без застосування мікродобрив урожайність сухої речовини становила у фазу молочної стиглості зерна у середньоранніх гібридів

кукурудзи 11,1–14,0 т/га, у 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. На варіантах з обробкою насіння YaraVita Teprosyn NP+Zn (5 л/т)+обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га) у середньому по гібридах та періодах обліків урожайність сухої речовини зростала на 1,2–2,9%, а у разі обробки 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 їх застосування.

При цьому достовірної різниці між 2 і 3 варіантом використання мікродобрив Yara не відзначено, як і по урожайності зеленої маси.

Найбільшу урожайність сухої речовини отримано у гібриду Каріфолс у фазу молочно-воскової стиглості зерна на максимальному фоні удобрення ($N_{120}P_{90}K_{90}$) та обробкою насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т)+обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) – 17,7 т/га.

Розрахунковий вихід біогазу був у межах 9,1–13,7 тис. м³/га у середньоранніх гібридів кукурудзи та 11,6–15,6 тис. м³/га у середньостиглих, що на 1,9–2,5 тис. м³/га більше (рис. 1 і 2).

Серед гібридів вищими значеннями цього показника відзначалися КВС 381 (11,6–14,7 тис. м³/га) і Каріфолс (12,4–15,6 тис. м³/га). У гібридів Амарос і Богатир вихід біогазу був у межах 9,1–12,0 і 10,4–13,7 тис. м³/га.

Спостерігається зростання виходу біогазу за рахунок застосування $N_{90}P_{60}K_{60}$ на 15,2–22,4% та

Таблиця 3 – Вплив застосування макро- і мікродобрив на зміну урожайності сухої маси середньоранніх гібридів кукурудзи (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
HIP 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

Таблиця 4 – Вплив застосування макро- і мікродобрих на зміну урожайності сухої маси середньостиглих гібридів кукурудзи (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
НІР 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

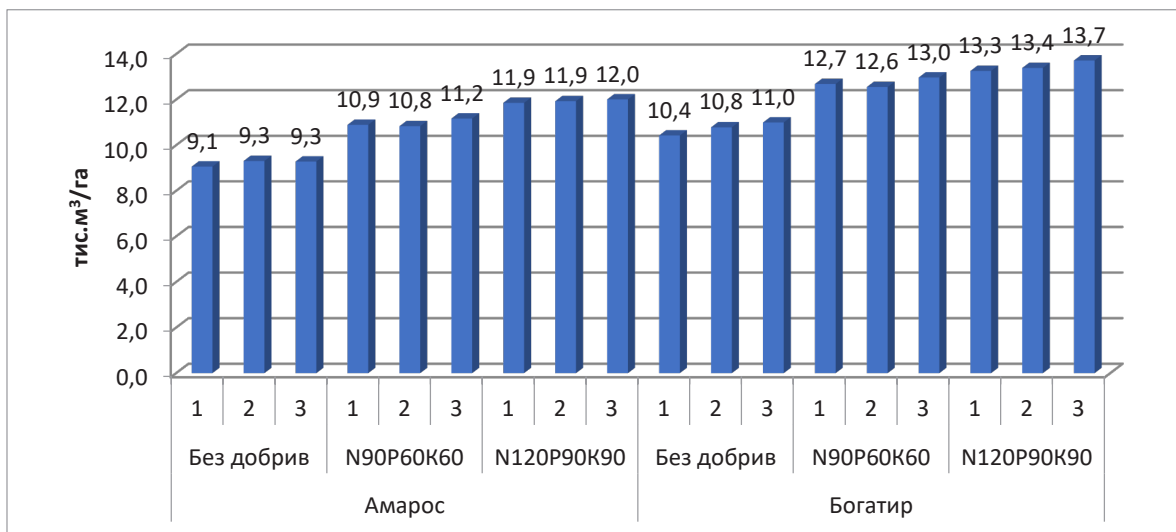


Рис. 1. Розрахунковий вихід біогазу у середньоранніх гібридів кукурудзи залежно від досліджуваних факторів у фазу молочно-воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), тис. м³/га

на 21,7–30,9% від внесення N₁₂₀P₉₀K₉₀ порівняно з контролем. У разі застосування мікродобрих вихід біогазу був вищим на 1,8–3,6% порівняно з варіантами без їх використання. Не відзначено достовірної різниці між другим і третім варіантом з мікродобривами за виходом біогазу.

Висновки. Отже, застосування макродобрих забезпечує формування високих показників урожайності зеленої та сухої маси у фазу молочно-вос-

кової стиглості зерна у гібридів кукурудзи на рівні 40,9–48,9 і 14,7–17,7 т/га.

Проведення обробки насіння YaraVita Teprosyn NP+Zn (5 л/т)+обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Maize Boost (4 л/га) дозволяє отримати приріст урожайності зеленої та сухої маси вище на 1,2–3,8%, а у разі обробки насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т)+обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га)

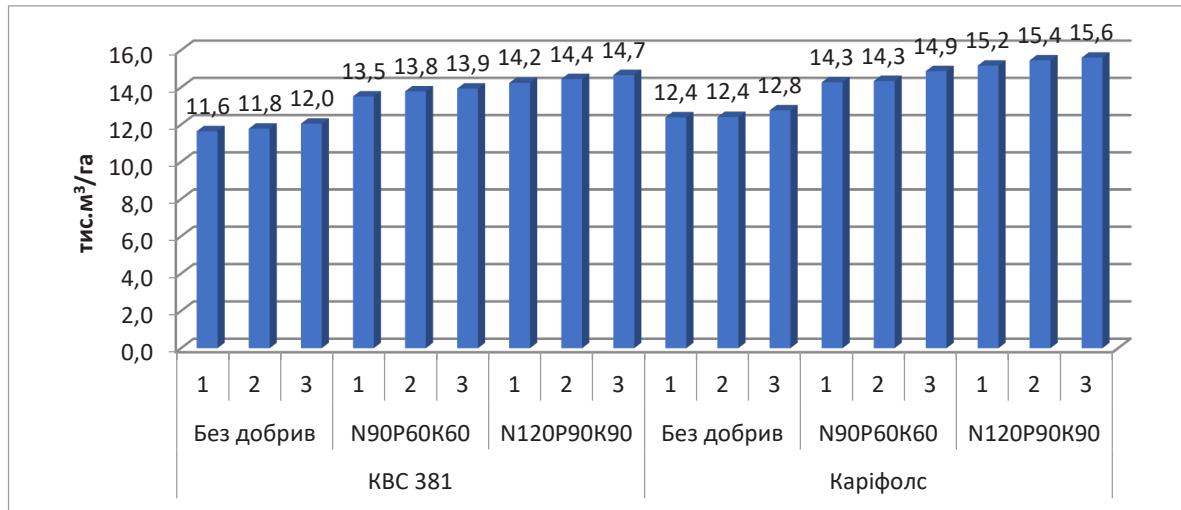


Рис. 2. Розрахунковий вихід біогазу у середньостиглих гібридів кукурудзи залежно від досліджуваних факторів у фазу молочно-воскової стиглості зерна (середнє за 2019–2021 рр.), тис. м³/га

на 1,5–4,2% порівняно з варіантами без їх застосування. Достовірної різниці між 2 і 3 варіантами із застосуванням мікродобрив не відзначено.

У разі внесення $N_{90}P_{60}K_{60}$ і $N_{120}P_{90}K_{90}$ вихід біогазу був вищим на 15,2–22,4% і 21,7–30,9% порівняно з контролем. У разі застосування мікродобрив вихід біогазу був вищим на 1,8–3,6% порівняно з варіантами без їх використання.

Максимальні показники урожайності зеленої і сухої маси та вихід біогазу отримано у фазу молочно-воскової стиглості зерна у гібрида Каріфолс на фоні внесення $N_{120}P_{90}K_{90}$ і обробки насіння YaraTera Tenso Cocktail (0,15 кг/т)+обприскування кукурудзи у фазі 3–5 листків YaraVita Kombiphos (3 л/га) – 48,9, 17,7 т/га і 15,6 тис. м³/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Паламаренко Я.В. Сучасний стан та перспективи розвитку біогазової галузі України. *Інвестиції: практика та досвід*. 2019. № 21. С. 54–62. DOI: 10.32702/2306-6814.2019.21.54.
2. Mazur V.A., Pantsyreva H.V., Mazur K.V., Myalkovsky R.O., Alekseev O.O. Agroecological prospects of using corn hybrids for biogas production. *Agronomy Research*. 2020. No. 18(1). Pp. 177–182. URL: <https://doi.org/10.15159/AR.20.016>.
3. Geletukha G.G., Matveev Y.B. Prospects of biomethane production in Ukraine. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*. 2021. Volume 43. Issue 3. Pp. 65–70.
4. Mayer F., Gerin P.A., Noo A., Lemaigre S., Stilmant D., Schmit T., Leclech N., Ruelle L., Gennen J., von Francken-Welz H., Foucart G., Flammang J., Weyland M., Delfosse P. Assessment of energy crops alternative to maize for biogas production in the Greater Region. *Bioresour. Technol.* 2014. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.054>.
5. Грабовський М.Б. Кукурудза для виробництва біогазу. *Агробізнес сьогодні*. 2020. № 8 (423). С. 42–44.
6. Чабан В.И. Влагодобеспеченность и урожайность кукурузы при внесении органических и минеральных удобрений. *Бюллетень Института кукурузы*. 1993. № 77. С. 82.

7. Енергозбережні і ресурсощадні технології вирощування кукурудзи. Рекомендації. Інститут зернового господарства УААН. Дніпропетровськ. 2006. 27 с.

8. 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. No. 25. P. 236. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.017>.

9. Golinski P., Jokś W. Chemical and biological properties of grasses and biogas production. *Grassland Science in Poland*. 2007. No. 10. Pp. 37–47.

10. Oleszek M., Matyka M. Determination of the efficiency and kinetics of biogas production from energy crops through nitrogen fertilization levels and cutting frequency. *BioRes*. 2018. No. 13(4). Pp. 8505–8528. URL: <https://doi.org/10.15376/biores.13.4.8505-8528>.

11. 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.

12. Krzystek L., Wajszczuk K., Pazera A. The Influence of Plant Cultivation Conditions on Biogas Production: Energy Efficiency. *Waste Biomass Valor*. 2020. No. 11. Pp. 513–523. URL: <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00668-z>.

13. Oleszek M., Matyka M. Energy Use Efficiency of Biogas Production Depended on Energy Crops, Nitrogen Fertilization Level, and Cutting System. *Bioenergy Res*. 2020. No. 13. Pp. 1069–1081. URL: <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10147-2>.

14. Коваленко О., Ковбель А. Елементи живлення та стреси польових культур. *Пропозиція*. 2013. № 5(215). С. 78–79.

15. Санін Ю.В. Технологія підживлення кукурудзи макро- та мікроелементами, їхнє значення та застосування в посівах кукурудзи. *Пропозиція*. 2010. № 5. С. 20–22.

16. Ткаліч Ю.І., Цилюрик 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.

17. Гож О.А. Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від мікродобрив та стимуляторів росту в умовах зрошення Півдня України. *Зрошуване землеробство*. 2013. Вип. 61. С. 118–120.

18. 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. 1266–1275. DOI: 10.1080/00103624.2011.571980.

19. 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.

20. Основи наукових досліджень в агрономії: підручник. / За ред. В.О. Єщенко. Вінниця: ПП «Едельвейс і К». 2014. 332 с.

21. Вильдфлуш И.Р., Кукреш С.П., Ионас В.А. *Агрохимия*. Минск: Урожай, 1995. 480 с.

22. 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.

REFERENCES:

1. Palamarenko Ya.V. (2019). Suchasnij stan ta perspektivi rozvitku biogazovoyi galuzi Ukraini [Current state and prospects of development of the biogas industry of Ukraine]. *Investiciji: praktika ta dosvid*. 21. 54–62. DOI: 10.32702/2306-6814.2019.21.54 [in Ukrainian].

2. Mazur V.A., Panytyreva H.V., Mazur K.V., Myalkovsky R.O., Alekseev O.O. (2020). Agroecological prospects of using corn hybrids for biogas production. *Agronomy Research*. 18(1). 177–182. Retrieved from: <https://doi.org/10.15159/AR.20.016>.

3. Geletukha G.G., Matveev Y.B. (2021). Prospects of biomethane production in Ukraine. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*. 43. 3. 65–70.

4. Mayer F., Gerin P.A., Noo A., Lemaigre S., Stilmant D., Schmit T., Leclech N., Ruelle L., Gennen J., von Francken-Welz H., Foucart G., Flammang J., Weyland M., Delfosse P. (2014). Assessment of energy crops alternative to maize for biogas production in the Greater Region. *Bioresour. Technol.* Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.054>.

5. Grabovskij M.B. (2020). Kukurudza dlya virobnictva biogazu [Corn for biogas production]. *Agribusiness today*. 8 (423). 42–44 [in Ukrainian].

6. Chaban V.I. (1993). Vлагообеспеченность i urozhajnost kukuruzy pri vnesenii organicheskikh i mineralnykh udobrenij [Moisture supply and productivity of corn when applying organic and mineral fertilizers]. *Bulletin of the Corn Institute*. 77. 82 [in Russian].

7. Energozbezpečni i resursooshadni tehnologiyi viroshuvannya kukurudzi. Rekomendaciyi (2006) [Energy-saving and resource-saving technologies for growing corn. Recommendations]. Institute of Grain Management UAAS. Dnipropetrovsk. 27 [in Ukrainian].

8. Arodudu O.T., Helming K., Voinov A., Wiggering H. (2017). Integrating agronomic factors into energy efficiency assessment of agro-bioenergy production – A case study of ethanol and biogas production from maize feedstock. *Appl. Energy*. 25. 236. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.017>.

9. Golinski P, Jokś W. (2007). Chemical and biological properties of grasses and biogas production. *Grassland Science in Poland*. 10. 37–47.

10. Oleszek M., Matyka M. (2018). Determination of the efficiency and kinetics of biogas production from energy crops through nitrogen fertilization levels and cutting frequency. *BioRes*. 13(4). 8505–8528. Retrieved from: <https://doi.org/10.15376/biores.13.4.8505-8528>.

11. Grabovskij M.B., Grabovska T.O., Goro-deckij O.S., Kurilo V.L. (2019). Formuvannya produktivnosti kukurudzi na silos zalezno vid fonu mineralnogo zhivlennya [Formation of productivity of corn for silage depending on the background of mineral nutrition]. *Irrigation agriculture*. 71. 37–40 [in Ukrainian].

12. Krzystek L., Wajszczuk K., Pazera A. (2020). The Influence of Plant Cultivation Conditions on Biogas Production: Energy Efficiency. *Waste Biomass Valor*. 11. 513–523. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00668-z>.

13. Oleszek M., Matyka M. (2020). Energy Use Efficiency of Biogas Production Depended on Energy Crops, Nitrogen Fertilization Level, and Cutting System. *Bioenerg. Res*. 13. 1069–1081. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10147-2>.

14. Kovalenko O., Kovbel A. (2013). Elementi zhivlennya ta stresi polovih kultur [Nutrients and stresses of field crops]. *Propozyciya*. 5(215). 78–79 [in Ukrainian].

15. Sanin Yu.V. (2010). Tehnologiya pidzhivlennya kukurudzi makro- ta mikroelementami, yihnye znachennya ta zastosuvannya v posivah kukurudzi [Technology of maize fertilization with macro- and microelements, their significance and application in maize crops]. *Propozyciya*. 5. 20–22 [in Ukrainian].

16. Tkalic Yu.I., Cilyurik O.I., Kozechko V.I. (2017). Optimizaciya zastosuvannya mikro-dobriv ta regulatoriv rostu roslin u posivah kukurudzi Pivnichnogo Stepu Ukraini [Optimization of application of microfertilizers and plant growth regulators in corn crops of the Northern Steppe of Ukraine]. *Bulletin of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University*. 4 (46). 20–25 [in Ukrainian].

17. Gozh O.A. (2013). Produktivnist gibridiv kukurudzi zalezno vid mikro-dobriv ta stimulyatoriv rostu v umovah zroshennya Pivdnyia Ukraini [Productivity of maize hybrids depending on microfertilizers and growth stimulants under irrigation conditions in the South of Ukraine]. *Irrigation agriculture*. 61. 118–120 [in Ukrainian].

18. Bernardi A.C. de Campos, G.B. de Souza, Polidoro J.C., Perdigão Paiva P.R., Monte M.B. de Mello. (2011). Yield, quality components, and nitrogen levels of silage corn fertilized with urea and zeolite. *Communications in soil science and plant analysis*. 42. 11. 1266–1275. DOI: 10.1080/00103624.2011.571980.

19. Grabovskiy M. and others (2021). Metodichni rekomendaciyi z rozrahunku vihodu biogazu ta bioetanolu z bioenergetichnih kultur [Methodical recommendations for calculating the yield of biogas and bioethanol from bioenergy crops]. *Bila Tserkva*. 28 [in Ukrainian].

20. Yeshchenko V.O., Kopytko P.H., Kostohryz P.V., Opryshko V.P. (2014). Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii [Fundamentals of scientific research in agronomy]. Vinnytsia: PP “TD “Edelweis I K”. 332 [in Ukrainian].

21. Vildflush I.R., Kukresh S.P., Ionas V.A. (1995). *Agrohi-miya* [Agrochemistry]. Minsk: Urozhaj. 480 [in Russian].

22. Satanovska I.P. (2013). Viktoristannya regulyatoriv rostu ta helatnih dobriv pri formuvanni produktivnosti riznostiglih gibridiv kukurudzi na silos [The use of growth regulators and chelated fertilizers in the formation of the productivity of different hybrids of corn for silage]. *Feed and feed production*. 76. 218–224 [in Ukrainian].