МОН УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(УНУ)

Факультет агрономії
Кафедра агрохімії і ґрунтознавства

Допущено до захисту
«____» _____ 2025 р.
Зав. кафедри к. с.-г. н., доцент
_____ Олена ЧЕРНО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ступеня вищої освіти магістр

ВПЛИВ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ НА СИЛОС У ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ

Виконала: студентка ІІ курсу, групи 21 м-з-а
спеціальності 201 Агрономія
Людмила ДЕРКАЧ

Керівники: Ліна МУСІЄНКО,
доктор філософії, старший викладач

Умань – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП		3
РОЗДІЛ І	ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ КУКУРУДЗИ НА СИЛОС	4
РОЗДІЛ ІІ	ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
РОЗДІЛ ІІІ	УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ 3.1. Характеристика ґрунту під дослідом 3.2. Погодні умови 3.3. Схема досліду та розміщення варіантів 3.4. Характеристика технології вирощування кукурудзи на силос 3.5. Методика проведення дослідження	12 12 12 14 14 15
РОЗДІЛ ІV	ВПЛИВ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ НА СИЛОС 4.1. Баланс основних елементів живлення під посівами кукурудзи на силос 4.2. Вплив систем удобрення на продуктивність кукурудзи на силос 4.3. Зміни якісних показників під впливом систем удобрення 4.4. Вплив системи удобрення на накопичення нітратів у зеленій масі кукурудзи на силос	16 16 19 22 25
РОЗДІЛ V	ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА СИЛОС	28
РОЗДІЛ VI	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 6.1. Охорона праці та моделювання небезпек під час вирощування кукурудзи на силос 6.2. Охорона навколишнього природного середовища при застосуванні пестицидів та добрив	30 30 32
ВИСНОВКИ		34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		35
ДОДАТКИ		40

ВСТУП

Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи. Кукурудза є однією з найважливіших кормових культур в Україні, що забезпечує вихід силосу із високою кормовою цінністю. Підвищення її продуктивності значною мірою залежить від раціональної системи живлення. У сучасних умовах господарювання особливої актуальності набуває використання органо-мінеральних добрив, які поєднують позитивний вплив органічних і мінеральних речовин, покращують родючість ґрунту та сприяють ефективнішому засвоєнню поживних елементів рослинами.

Силос із кукурудзи добре поїдається тваринами і має збалансований вміст сухої речовини, вуглеводів і протеїну, що сприяє підвищенню продуктивності ВРХ. Завдяки високій урожайності, пластичності до умов вирощування та добрій реакції на удобрення, кукурудза займає провідне місце у структурі посівних площ кормових культур України.

Наукова новизна полягала в обґрунтуванні і практичній розробці прийомів системи удобрення кукурудзи на силос для забезпечення підвищення урожайності та якості її зеленої маси в умовах Правобережного Лісостепу.

Практична цінність. Дослідження впливу органо-мінерального живлення на продуктивність кукурудзи на силос у Правобережному Лісостепу є важливим для розроблення екологічно безпечних і економічно обґрунтованих систем удобрення, що забезпечують високу врожайність і якість силосної маси.

Апробація результатів досліджень. Основні результати досліджень були обговорені на студентському науковому гуртку кафедри агрохімії і ґрунтознавства Уманського НУ та опубліковано у збірнику тез Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні питання сучасної аграрної науки».

РОЗДІЛ І
ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ КУКУРУДЗИ НА СИЛОС

Кукурудза на силос потребує особливих елементів технології вирощування в порівнянні із зерновою. Так, як силосна зазвичай збирається до фізіологічної зрілості, тому вимагає меншої кількості води порівняно із зерновою. Для підвищення врожайності та якісних показників кукурудзи на силос, значний вплив має управління мінеральним живленням на ранніх стадіях [35].

Удобрення є одним із ключових чинників інтенсифікації виробництва рослинницької продукції, оскільки істотно впливає, як на рівень урожайності сільськогосподарських культур, так і на якість отриманої продукції. Розроблення та впровадження раціональної системи удобрення з урахуванням природної родючості ґрунту, його агрохімічного стану, кліматичних особливостей і виробничих умов є невід'ємною складовою сучасної технології вирощування культур [5].

Правильно підібране органо-мінеральне живлення забезпечує підвищення стійкості рослин кукурудзи до ураження кореневими гнилями. За внесення фосфорно-калійних добрив відбувається підвищення імунітету рослин до грибкових хвороб. Збалансоване внесення макро- і мікродобрив значно підвищує стійкість рослин до хвороб і шкідників, покращує регенераційну здатність, чим зменшує втрати врожаю від несприятливих умов [16].

Кукурудза належить до культур, які добре реагують на внесення органічних добрив. Це пояснюється її високою потребою в елементах живлення, особливо в азоті, фосфорі та калії, а також значною масою вегетативних органів, що формуються протягом вегетації. Органічні добрива, зокрема гній, компости, торфогнойові та сидеральні суміші, є важливим джерелом макро- і мікроелементів, які поступово мінералізуються й забезпечують рослини поживними речовинами впродовж усього періоду росту.

Позитивний вплив органічних добрив проявляється не лише у підвищенні врожайності, а й у покращенні фізико-хімічних властивостей ґрунту – збільшенні вмісту гумусу, поліпшенні структури, водоутримуючої здатності та активізації мікробіологічної діяльності.

Кукурудза має добру пластичність і за достатнього забезпечення вологою дає високі врожаї, а в посушливих роках проявляється її посухостійкість. Їй властива стійкість до монокультури, однак вона добре реагує на поліпшення умов живлення. У процесі росту і розвитку, кукурудза засвоює з ґрунту багато поживних речовин. На створення 1 т зерна і відповідної кількістю нетоварної продукції вона виносить із ґрунту в середньому 23,4 кг азоту, 9,5 фосфору і 23,0 кг калію. Що стосується кукурудзи на силос, то для формування зеленої маси вона виносить з ґрунту 3,15, 1,14 і 4,23 кг/т відповідно [5].

Результати сучасних досліджень свідчать, що внесення органічних добрив у поєднанні з мінеральними дозволяє не лише підвищити продуктивність кукурудзи на силос, а й позитивно впливає на агроекологічний стан ґрунту. Так, дослідженнями встановлено, що застосування органічного добрива під кукурудзу на силос сприяло підвищенню врожайності на 10,23 %, порівняно з варіантом, де вносили лише NPK [44].

Досліди з поєднання гною з мінеральним азотом підтверджують високу ефективність їх у технології вирощування кукурудзи на силос. Застосування гною у дозах 20–60 т/га + 50–150 кг/га азотного добрива забезпечило істотне збільшення сухої маси врожаю та поглинання азоту рослинами [46].

Роль органічних добрив проявляється не лише у впливі на врожайність культури, а й поліпшенні фізико-хімічних властивостей ґрунту. В умовах посушливих регіонів застосування 40–42 т/га гною підвищувало врожайність на 5–10 % та водну продуктивність на 3–8 % порівняно з мінеральним удобренням чим забезпечувало економічно оптимальний урожай кукурудзи на силос [47].

Дані китайських досліджень підтверджують можливість часткової або повної заміни мінеральних добрив органічними без суттєвої втрати врожайності. Встановили, що заміна частини мінерального азоту органічним добривом у

посівах кукурудзи на силос дозволяє підтримувати, і навіть підвищувати, урожайність зеленої маси, а також покращувати кормову якість отриманої продукції за вмістом сирого протеїну [48]. Подібні результати отримано при застосуванні біогазової рідини з гною ВРХ, яка забезпечувала збільшення врожаю силосної маси до 101,07 т/га та підвищувала вміст сирого протеїну без погіршення інших показників якості корму [49].

Урожайність кукурудзи, як на зерно, так і на силос значною мірою залежить від забезпечення макроелементами під час вегетації рослин, зокрема азотом, фосфором та калієм [32].

Азот є одним із життєво важливих елементів для рослин і основним, що лімітує врожайність кукурудзи [43]. Для оптимального росту й розвитку рослин важливе значення має його наявність у достатній кількості впродовж вегетаційного періоду. Він є складовим елементом білків, а також невід'ємним компонентом багатьох інших сполук, які необхідні для процесів росту кукурудзи, включаючи хлорофіл і різні ферменти [41].

В умовах Туреччини проведено дослідження з вивчення впливу виду та норм азотних добрив на продуктивність кукурудзи на силос. Досліджували сечовину, аміачну селітру та сульфат амонію у наступних 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 [42].

У Правобережному Лісостепу найбільшу урожайність зеленої маси гібридів кукурудзи (83,6 та 80,8 т/га) у фазу молочно-воскової стиглості зерна отримали при внесенні азотних добрив N_{135}, що більше на 20,8 і 23,1 % порівняно з контролем [22].

У дослідницькому центрі Університету Вайомінгу встановлено, що норми зрошення, азотних добрив і терміни їх внесення мають значний вплив на ріст і врожайність, як зеленої, так і сухої маси кукурудзи. Найбільш оптимальною в цих умовах, виявилася норма внесення азоту 180 кг/га [39]. За даними інших американських дослідників, максимальний врожай кукурудзи формується при внесенні 100-140 кг/га азоту [36].

В ранні фази росту тй розвитку кукурудза позитивно реагує на позакореневе підживлення азотними та азотно-фосфорними добривами. Так, застсування позакореневого підживлення рослин кукурудзи сечовиною у фазу молочної стиглості зерна, забезпечило зростання вмісту білка, порівняно з контролем, на 25 %, а у вегетативних органах – на 33–48 % [15].

Фосфор входить до складу нуклеїнових кислот, АТФ і АДФ, нуклеопротеїдів, цукрофосфатів, лецитину, фітину, вітамінів, фосфатидів і багатьох ферментів [30]. Фосфор відповідає за розвиток кореневої системи рослин, а також підвищує їх стійкість до деяких грибкових захворювань; сприяє кращому використанню інших елементів живлення з ґрунту, особливо таких, як азот, калій, магній; поліпшує харчові й технологічні якості овочевої продукції [4].

Встановлено, що за позакореневого підживлення рослин фосфором, його асиміляція проходить досить повільно і в незначній кількості, тому основне фосфорне живлення рослин краще проводити через кореневу систему, тобто за рахунок внесення цього елементу в ґрунт [19].

Поряд з азотом і фосфором, не менш важливим елементом живлення є калій, 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 підвищує стійкість до хвороб, посухи та весняних заморозків; забезпечує водоспоживання рослин; підсилює утворення цукрів та їх переміщення [1, 40].

Достатнє забезпечення рослин калієм сприяє підвищенню якості продукції, стійкості культур до хвороб і збільшенню терміну її зберігання. Калій позитивно впливає на кормову цінність зернових і кормових культур, стимулює розвиток кореневої системи та підвищує посухостійкість рослин. За рахунок підтримання тургору клітин він зменшує втрати води та в’янення, знижує інтенсивність дихання, запобігаючи надмірним витратам енергії. Крім того, калій сприяє перерозподілу цукрів і крохмалю, підвищує вміст білка, бере участь у синтезі

целюлози, зменшує вилягання посівів, підвищує зимостійкість і загальну стійкість культур до ураження хворобами [38].

Останнім часом все більшого значення набуває використання в посівах сільськогосподарських культур, в тому числі і посівах кукурудзи на силос, мікроелементних препаратів для посилення стійкості рослин до несприятливих гідротермічних умов, регулювання ростових процесів, підвищення врожайності та якості продукції [16].

При тривалому застосуванні високих доз мінеральних добрив, на різних ґрунтах, починає відчувається дефіцит мікроелементів. Частіше така ситуація притаманна, бідним на елементи живлення, піщаним і супіщаним ґрунтам, на зрошуваних землях, або на осушених торфовищах. За таких умов відзначається позитивна дія мікродобрив на рослини [23].

Важливим резервом для підвищення урожайності зернових культур та якості їх врожаю є мікродобрива. Їх дефіцит часто гальмує ріст і розвиток рослин, призводить до зниження врожайності і якості с.-г. продукції. Основним джерелом мікроелементів для рослин є ґрунт. Однак, не всі ґрунти здатні повністю задовольнити потребу рослин у них. Встановлено, що кислі ґрунти підвищують доступність для рослин всіх мікроелементів, за винятком молібдену, і навпаки – на нейтральних і слабо-лужних ґрунтах засвоюваність молібдену зростає, а інших мікроелементів знижується [13].

Для кукурудзи важливим мікроелементом є цинк, який має значний вплив на окисно-відновні процеси, сприяє утворенню хлорофілу, має позитивну роль у синтезі ауксинів, є компонентом ферментних систем, які пов'язані з вуглеводним обміном, впливає на обмін фосфору, підвищує здатність утримувати воду в тканинах [17].

Цинк впливає на фізико-хімічні властивості клітинної плазми та виступає каталізатором багатьох окисно-відновних реакцій у рослинному організмі. Він є складовою частиною ферментативних систем, що регулюють вуглеводний обмін, а також бере безпосередню участь у синтезі хлорофілу й процесах фотосинтезу [6]. За застосування фосфорних добрив підвищується потреба

рослин у цинку, який активізує засвоєння фосфору [37]. Достатнє забезпечення цинком сприяє підвищенню стійкості рослин до бактеріальних хвороб, посухи й низьких температур [27]. Ознаки його дефіциту найчастіше проявляються за умов низької температури ґрунту, тому в початковий період вегетації важливо забезпечити рослини достатньою кількістю цього мікроелемента [2].

Встановлено, що бор відіграє важливу роль у переміщенні вуглеводів до кореневої системи та органів плодоношення, що сприяє підвищенню врожайності та покращенню якості продукції [27]. Цей мікроелемент регулює синтез азотистих сполук у клітинах, активізує діяльність ферментів, стимулює утворення аскорбінової кислоти та каротиноїдів, а також підвищує вміст хлорофілу в листковому апараті. Навіть за оптимального забезпечення макроелементами (NPK) нестача бору істотно обмежує продуктивність сільськогосподарських культур [45]. Спроби замінити бор іншим елементом виявилися безрезультатними, що підтверджує його унікальну фізіолого-біохімічну роль у рослинному організмі [37].

Магній є одним із ключових елементів живлення, який забезпечує нормальний перебіг фізіолого-біохімічних процесів у рослинах. Він підвищує інтенсивність фотосинтезу, сприяє утворенню хлорофілу, бере участь в окисно-відновних і ферментативних реакціях, а також входить до складу фітину та інших органічних сполук. У вигляді іонів магній підтримує осмотичний потенціал клітинного соку, що забезпечує стабільність тургору [6, 11]. За його дефіциту порушується ріст і розвиток рослин, знижується рівень фотосинтетичної активності, вміст хлорофілу, стійкість до хвороб і якість продукції [3]. Магній відіграє важливу роль у засвоєнні азоту, фосфору та калію, особливо за інтенсивних технологій вирощування, тому його доцільно вносити не лише у вигляді позакореневих підживлень, а й під основне удобрення [26].

Оптимальним періодом проведення позакореневого підживлення макро- та мікроелементами є міжфазний інтервал від утворення 4–7 листків до початку формування стебла кукурудзи. У цей час спостерігається інтенсивний ріст вегетативної маси та активне формування генеративних органів, тому засвоєння

елементів живлення через листкову поверхню є найбільш ефективним. Навіть порівняно невеликі дози добрив, застосованих у позакореневому підживленні, забезпечують приріст урожайності на 8–10 % і значно підвищують окупність мінеральних добрив [29].

Позакореневе внесення макроелементів, як окремо, так і в поєднанні, позитивно впливає на ріст і розвиток рослин, структуру врожаю та врожайність кукурудзи, особливо в умовах дефіциту вологи. Такий спосіб живлення не лише забезпечує рослини необхідними елементами у посушливі періоди, а й сприяє поліпшенню водного режиму, підвищуючи ефективність використання вологи [31, 34].

В дослідженнях відзначений вплив листкового підживлення рослин на врожайність кукурудзи залежно від складу та фази застосування. На тлі удобрення $N_{80}P_{40}K_{60}$ підживлення мікродобривами у фазі 10 листків було найефективнішим і в середньому, забезпечило збільшення урожаю на 0,93 т/га відносно контролю, а при удобренні $N_{120}P_{60}K_{100}$ приріст становив 0,97 т/га [28].

Узагальнюючи наявні літературні дані, можна відзначити, що силосна кукурудза характеризується позитивною реакцією на органічне й органо-мінеральне удобрення, а також підживлення мікродобривами. Найбільш ефективними є системи, в яких органічні добрива (гній, компости, м’ясо-кісткове борошно, біогазова рідина тощо) застосовуються у поєднанні із зниженими нормами мінеральних добрив.

РОЗДІЛ ІІ
ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ
(особливості сорту ЛГ 30308)

Гібрид ЛГ 30308 належить до середнюстиглої групи стиглості (ФАО 310) і призначений переважно для вирощування на силос. Відзначається високою енергію початкового росту, типом stay-green, що забезпечує тривале збереження зеленої маси до збирання та високим потенціалом урожайності – до 70 75 т/га зеленої маси.

Рослини високорослі (280-350 см), добре облиственні, формують качан із 14-18 рядками зерен кремнисто-зубовидного типу. Маса 1000 зерен – близько 310-320 г. Гібрид характеризується високою стійкістю до фузаріозу, пухирчастої сажки та вилягання (8 балів із 9), а також доброю толерантністю до посухи.

ЛГ 30308 добре реагує на підвищений рівень живлення, особливо при застосуванні органо-мінеральної системи удобрення, що сприяє формуванню більшої кількості сухої речовини та підвищує якість силосу. Оптимальна густота стояння перед збиранням становить 80–95 тис. рос/га у зонах достатнього зволоження.

Завдяки поєднанню високої продуктивності, якості зеленої маси та адаптивності до умов Лісостепу, даний гібрид є перспективним об’єктом для дослідження впливу органо-мінерального живлення на продуктивність кукурудзи на силос у Правобережному Лісостепу України.

РОЗДІЛ ІІІ
УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Характеристика ґрунту під дослідом

Дослідження проводилися в умовах стаціонарного досліду кафедри агрохімії і ґрунтознавства Уманського національного університету, для якого характерним ґрунтовим покривом є чорнозем опідзолений важкосуглинковий.

Чорнозем опідзолений – це перехідний тип ґрунтів між чорноземом типовим та сірим лісовим типами ґрунту, сформований у лісостеповій зоні під лучно-степовою та частково лісовою рослинністю. Належить до високопродуктивних, але дещо менш родючих, порівняно з чорноземом типовим через прояви опідзолення і має менш виражений гумусовий горизонт.

Ґрунтоутворююча порода – карбонатний лес або лесовидні суглинки, що забезпечують добру структурність, водопроникність і високу агрономічну цінність.

За результатами агрохімічних досліджень ґрунт дослідного поля характеризувався низьким вмістом гумусу (3,86 %), слабокислою реакцією ґрунтового середовища (pH_{kcl} 5,9), низьким вмістом азоту лужногідролізованих сполук, високим вмістом рухомих сполук фосфору та підвищеним вмістом калію, середнім вмістом кальцію, магнію, низьким вмістом мангану, цинку та міді, середнім вмістом кобальту.

За агрохімічними показниками чорнозем опідзолений дослідної ділянки є придатним для вирощування основних польових культур за умови оптимізації умов живлення рослин. Він характеризується високою родючістю, та за умов належного рівня агротехнології здатний забезпечити отримання високих і сталих урожаїв районованих сортів і гібридів сільськогосподарських культур

3.2. Погодні умови

З даних таблиці 2 бачимо, що погодні умови року досліджень відзначалися істотними відхиленнями від норми за кількістю опадів і температурним

режимом. В таблиці наведено основні метеорологічні показники за вегетаційний період 2025 року в порівнянні із середніми багаторічними значеннями.

Впродовж весняно-літнього періоду спостерігалася нерівномірність випадання опадів: в травні випало майже вдвічі більше опадів, ніж у середньому багаторічному розрізі (101,8 мм і 52 мм відповідно), тоді, як у червні кількість опадів була критично низькою – 11,2 мм (середня багаторічна – 81 мм). Високі температури повітря в червні-липні (19,3–22,4 °С) сприяли інтенсивному росту рослин кукурудзи, проте дефіцит вологи у цей період міг призвести до часткового зниження потенціалу урожайності.

Таблиця 1

Погодні умови на час проведення досліджень

(дані метеостанції Умань)

Показник	Місяці							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Сума опадів, мм								
Середня багаторічна	38	34	36	41	52	81	68	49
2025 р.	12,4	7,8	12,5	26,9	101,8	11,2	112,3	23,0
Температура повітря, ºС								
Середня багаторічна	-3,4	-2,3	2,5	9,7	15,4	19,0	20,9	20,1
2025 р.	2,1	-3,9	6,7	10,3	13,1	19,3	22,4	19,7
Відносна вологість повітря, %								
Середня багаторічна	86	85	82	68	64	66	67	68
2025 р.	86	74	67	61	74	63	65	63

Відносна вологість повітря у 2025 р. коливалася від 61 % до 86 %, що дещо нижче від середньо-багаторічного показника у весняно-літні місяці, особливо у травні та серпні. Загалом погодні умови можна оцінити, як помірно-посушливі з короткочасними надлишками опадів, що потребує оптимізації системи живлення кукурудзи, зокрема органо-мінеральної, для підвищення її стійкості до стресів.

3.3. Схема досліду та розміщення варіантів

Дослідження проводилися на дослідних ділянках кафедри агрохімії і ґрунтознавства Уманського національного університету в умовах великого стаціонарного досліду.

Схема досліду

1. Без добрив (контроль);
2. $N_{50}P_{50}K_{50}$;
3. $N_{100}P_{100}K_{100}$;
4. $N_{200}P_{200}K_{200}$;
5. $N_{50}P_{50}$+Гній 30 т/га.

Дослід закладено в триразовій повторності, варіанти розміщувалися послідовно. Загальна площа дослідної ділянки 180 м^2, облікова – 100 м^2. Згідно схеми досліду застосовували такі види мінеральних добрив: азотні – аміачна селітра, фосфорні – суперфосфат гранульований і калійні – калій хлористий. Гній, фосфорні і калійні добрива вносилися під основний обробіток ґрунту, азотні – під передпосівну культивацію.

Варіанти розміщені систематичним методом:



3.4. Характеристика технології вирощування кукурудзи на силос

Після збирання попередника (пшениця озима) здійснювали лущення стерні важкими дисковими боронами на глибину 6-8 см з метою знищення післяжнивних решток і проростих бур’янів. Восени, після внесення органічних і мінеральних добрив згідно схеми досліду, проводили оранку на зяб на глибину 25-27 см. Навесні, після фізичного достигання ґрунту, виконували боронування та культивацію для збереження вологи й вирівнювання поверхні поля.

Сівбу кукурудзи проводили у третій декаді квітня - першій декаді травня, коли температура ґрунту на глибині загортання насіння досягала 10-12 °С. Глибина загортання насіння становила 5-6 см.

Використовували гібрид ЛГ 30308 компанії Limagrain (ФАО 310), який характеризується високою енергією росту, типом stay-green і призначений переважно для силосного використання.

Схема розміщення рослин: міжряддя – 70 см; густота стояння – 75 тис. рослин/га.

Збирання зеленої маси на силос проводили у фазу молочно-воскової стиглості.

3.5. Методика проведення дослідження

Під час збирання зеленої маси кукурудзи відбирали зразки рослин (20 рослин відібраних по діагоналі) для визначення урожайності і якісних показників отриманої маси.

Для визначення балансу елемента живлення знаходили різницю між його надходженням та вилученням залежно від варіанту досліду.

У рослинних зразках визначали вміст сухої речовини гравіметричним методом; вміст білка й протеїну – за ДСТУ 4117 [9]; вміст жиру– згідно з ГОСТ10857 ; вміст крохмалю – відповідно з ГОСТ 10845.

Економічну ефективність вирощування кукурудзи на силос залежно від варіанту добрив розраховували за загальноприйнятими методиками, з урахуванням витрат за реалізаційними цінами 2025 року. [14, 21, 25].

РОЗДІЛ IV
ВПЛИВ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ НА СИЛОС

4.1. Баланс основних елементів живлення під посівами кукурудзи на силос

Розрахунок балансу елементів живлення є показником для оцінювання ефективності застосування добрив, а також відповідного екологічного навантаження на навколишнє природне середовище [7, 24].

На міжнародній конференції в Уганді затвердили, що до основних індикаторів деградації ґрунтів відносять також від'ємний баланс елементів живлення [33].

Баланс елементів живлення дає змогу відображати ступінь інтенсифікації сільського господарства [8, 12]. Важливим чинником є те, що він вказує на недоліки системи удобрення та вказує шляхи оптимізації доз і поєднань мінеральних добрив. Баланс поживних речовин також показує, збагачується чи збіднюється ґрунт окремими елементами [10].

Удобрення кукурудзи на силос є ключовим чинником формування високої продуктивності та підтримання родючості ґрунту. Ефективне поєднання органічних і мінеральних добрив дозволяє забезпечити оптимальний баланс елементів живлення, сприяючи сталим агрохімічним показникам ґрунту. Нижче наведено узагальнюючий аналіз балансів азоту, фосфору та калію залежно від варіанту досліду.

Азот відноситься до основних макроелементів і на 1 т зеленої маси його виноситься 3,14 кг (МК), що є на другому місці після калію. З даних таблиці 2 можемо спостерігати вплив використання різних систем удобрення.

Так, бачимо найбільш від'ємний баланс азоту на контрольному варіанті, що пояснюється відсутністю внесення будь-яких добрив. Застосування мінеральних добрив сприяло покращенню даного показника, однак додатній баланс азоту

спостерігається за внесення 200 кг/га мінерального азоту, або 50 кг/га мінерального та 30 т/га гною і становить +49,4 і +18,6 кг/га відповідно.

Таблиця 2

Баланс азоту в ґрунті залежно від варіанту досліду (2025 р), кг/га

Варіант досліду	Надходження	Винесення	Баланс
Без добрив (контроль)	0	129,8	-129,8
$N_{50}P_{50}K_{50}$	50	158,8	-108,8
$N_{100}P_{100}K_{100}$	100	167,0	-67,0
$N_{200}P_{200}K_{200}$	200	150,6	+49,4
$N_{50}P_{50}$+Гній 30 т/га	200	181,4	+18,6

Фосфор є одним із важливих макроелементів мінерального живлення рослин, який відіграє провідну роль у процесах енергетичного обміну, формуванні кореневої системи та закладанні генеративних органів. Для кукурудзи достатнє фосфорне живлення особливо важливе на ранніх етапах росту, оскільки воно визначає інтенсивність розвитку коренів і здатність культури засвоювати інші елементи.

У таблиці 3 наведено баланс фосфору в ґрунті залежно від варіантів удобрення. У контролі (без добрив) спостерігався найбільший дефіцит – 47,0 кг/га, що є наслідком повної відсутності надходження даного елемента. За внесення $N_{50}P_{50}K_{50}$ фосфорний баланс майже вирівнюється (–7,5 кг/га), проте залишається від’ємним.

Зі збільшенням дози до $N_{100}P_{100}K_{100}$ отримано позитивний баланс +39,6 кг/га, що свідчить про помітне покращення фосфорного режиму. Найвищий надлишок фосфору забезпечив варіант $N_{200}P_{200}K_{200}$ – +145,5 кг/га, що вказує на суттєве перевищення надходження над винесенням.

Таблиця 3

Баланс фосфору в ґрунті залежно від варіанту досліду (2025 р), кг/га

Варіант досліду	Надходження	Винесення	Баланс
Без добрив (контроль)	0	47,0	-47,0
$N_{50}P_{50}K_{50}$	50	57,5	-7,5
$N_{100}P_{100}K_{100}$	100	60,4	+39,6
$N_{200}P_{200}K_{200}$	200	54,5	+145,5
$N_{50}P_{50}$+Гній 30 т/га	125	65,7	+59,3

Органо-мінеральний варіант ($N_{50}P_{50}$ + гній 30 т/га) також характеризувався позитивним балансом +59,3 кг/га, що зумовлено надходженням, як мінерального, так і органічно зв’язаного фосфору, який мінералізується поступово.

Ще одним життєво важливим макроелементом для кукурудзи є калій, оскільки бере участь у регуляції водного режиму, підвищує стійкість рослин до посухи, сприяє активному синтезу вуглеводів та формуванню міцного стебла. Достатнє калійне живлення особливо важливе для силосної кукурудзи, адже воно визначає соковитість, формування листостеблової маси та стійкість рослин до вилягання.

У таблиці 4 наведено баланс калію в ґрунті за різних систем удобрення. Контрольний варіант характеризувався найбільшим дефіцитом – 174,3 кг/га, що свідчить про значне винесення елемента урожаєм, адже його рослини кукурудзи на силос виносять найбільше – 4,23 кг/т. За внесення $N_{50}P_{50}K_{50}$ дефіцит зменшився, проте залишався дуже високим (–163,2 кг/га).

Збільшення дози мінеральних добрив до $N_{100}P_{100}K_{100}$ сприяло покращенню калійного балансу (–124,2 кг/га), хоча баланс все ще був від’ємним. Майже повного вирівнювання досягнуто у варіанті $N_{200}P_{200}K_{200}$, де баланс калію становив – 2,2 кг/га, тобто надходження майже компенсувало винесення.

Таблиця 4

Баланс калію в ґрунті залежно від варіанту досліду (2025 р), кг/га

Варіант досліду	Надходження	Винесення	Баланс
Без добрив (контроль)	0	174,3	-174,3
$N_{50}P_{50}K_{50}$	50	213,2	-163,2
$N_{100}P_{100}K_{100}$	100	224,2	-124,2
$N_{200}P_{200}K_{200}$	200	202,2	-2,2
$N_{50}P_{50}$+Гній 30 т/га	180	243,6	-63,6

Органо-мінеральна система ($N_{50}P_{50}$ + гній 30 т/га) забезпечила надходження 180 кг/га калію, однак через значне винесення врожаєм баланс залишився від'ємним (–63,6 кг/га), хоча й помітно кращим порівняно з меншими дозами мінеральних добрив.

Мінеральна система з високими дозами ($N_{200}P_{200}K_{200}$) формує найкращий позитивний баланс азоту та фосфору і майже вирівнює баланс калію, що сприяє високій продуктивності кукурудзи. Водночас органо мінеральна система ($N_{50}P_{50}$+гній 30 т/га) забезпечує більш збалансоване та екологічно безпечне живлення, позитивно впливає на структуру ґрунту, гумусний стан і біологічну активність. Це робить її ефективним варіантом для довгострокового збереження родючості ґрунтів Правобережного Лісостепу.

4.2 Вплив систем удобрення на продуктивність кукурудзи на силос

Вилив систем удобрення на продуктивність кукурудзи на силос зумовлений високою потребою цієї культури в елементах мінерального живлення та винесенням значних їх кількостей із урожаєм, оскільки забирається вся надземна маса рослин. Кукурудза відзначається високим потенціалом формування зеленої та сухої маси, однак фактична врожайність силосної маси в багатьох

господарствах істотно поступається біологічним можливостям культури, що значною мірою пов’язано з недосконалістю систем живлення.

Сучасні дослідження показують, що раціональне удобрення здатне підвищувати врожайність кукурудзи (в тому числі на силос) на 10-200 % порівняно з варіантами без добрив, залежно від рівня забезпеченості ґрунту й погодних умов. Мінеральні добрива залишаються базовим елементом інтенсивних технологій, забезпечуючи швидкодіючі форми NPK, що безпосередньо визначають ріст, формування листостеблової маси, вміст сухої речовини та якість силосу.

Водночас надмірні дози мінеральних добрив можуть погіршувати екологічний стан агроценозів, сприяти накопиченню нітратів у кормовій масі та підвищувати ризики втрат елементів живлення з ґрунту. Органічні та органо-мінеральні системи удобрення розглядаються, як більш збалансований підхід до живлення силосної кукурудзи. Застосування гною, компостів та інших органічних добрив у поєднанні з мінеральними формами, не лише забезпечує рослини необхідними елементами живлення, а й активізує мікробіологічні процеси, покращує структуру ґрунту і водно-фізичні властивості. Комбінування підвищених доз NPK з органічними добривами (гній 30-50 т/га) сприяє формуванню високої та економічно обґрунтованої продуктивності силосної маси.

З огляду на значне винесення елементів живлення з урожаєм силосної кукурудзи, вибір оптимальної системи удобрення має ключове значення для формування високих і стабільних урожаїв та збереження родючості ґрунтів. Дослідження впливу різних систем живлення дозволяє обгрунувати ефективні, ресурсозберігаючі та екологічно безпечні технології для умов Правобережного Лісостепу України.

У таблиці 5 наведено вплив різних систем удобрення на врожайність кукурудзи на силос та приріст урожайності відносно контролю. Отримані дані свідчать про суттєву залежність продуктивності культури від рівня внесених добрив.

Контрольний варіант (без добрив) забезпечив найнижчу врожайність – 41,2 т/га, що характеризує природну забезпеченість ґрунту поживними речовинами. Внесення мінеральних добрив у нормі $N_{50}P_{50}K_{50}$ сприяло підвищенню врожайності до 50,4 т/га, що становить приріст 9,2 т/га (22,3 %) порівняно з контролем. Збільшення дози до $N_{100}P_{100}K_{100}$ забезпечило ще вищий результат – 53,0 т/га, або приріст 11,8 т/га (28,6 %), що є найбільшим показником серед мінеральних систем живлення.

Найвища врожайність у досліді отримана за органо-мінеральної системи удобрення – $N_{50}P_{50}$ + гній 30 т/га – 57,6 т/га, що відповідає приросту 16,4 т/га (39,8 %). Це свідчить про суттєвий синергічний ефект поєднання мінеральних і органічних добрив, який забезпечує не лише достатнє мінеральне живлення, а й покращує агрофізичні та біологічні властивості ґрунту.

Таблиця 5

Врожайність кукурудзи на силос в умовах досліду, 2025 р

Варіант досліду	Врожайність	Приріст до контролю	
		т	%
Без добрив (контроль)	41,2	–	–
$N_{50}P_{50}K_{50}$	50,4	9,2	22,3
$N_{100}P_{100}K_{100}$	53,0	11,8	28,6
$N_{200}P_{200}K_{200}$	47,8	6,6	16,0
$N_{50}P_{50}$+Гній 30 т/га	57,6	16,4	39,8
$НІР_{05}$	2,8	–	–

Варіант із максимальною дозою мінеральних добрив – $N_{200}P_{200}K_{200}$ дав нижчий урожай (47,8 т/га) у порівнянні із органо-мінеральною системою удобрення на 9,8 т/га силосної маси. Ймовірно, надлишок мінерального азоту міг спричинити погіршення фізіологічних процесів, зниження стійкості рослин до погодних стресів або інтенсивніше вилягання, що зумовило зменшення врожайності.

Отже, оптимальним для забезпечення максимальної продуктивності кукурудзи на силос у 2025 році виявився органо-мінеральний варіант досліду $N_{50}P_{50}$ + гній 30 т/га, який забезпечив найвищу врожайність та найбільший приріст до контролю. Серед мінеральних систем найбільш ефективною була норма $N_{100}P_{100}K_{100}$, тоді як надвисока доза $N_{200}P_{200}K_{200}$ не дала очікуваного приросту продуктивності.

4.3 Зміни якісних показників під впливом систем удобрення

Якісні показники зеленої маси кукурудзи на силос значною мірою визначаються рівнем мінерального та органічного живлення, оскільки система удобрення впливає не лише на інтенсивність ростових процесів, але й на біохімічний склад рослин. Збалансоване живлення формує оптимальний вміст сухої речовини, сирого протеїну, цукрів, структурних і неструктурних вуглеводів, що зумовлює кормову цінність і перетравність силосу.

Застосування мінеральних добрив сприяє активізації засвоєння азоту, фосфору та калію. Оптимальні дози азоту підвищують вміст сирого протеїну в зеленій масі, тоді, як надлишкове азотне живлення може призводити до накопичення нітратів і зниження структурних вуглеводів, що негативно впливає на якість силосу. Внесення фосфорних добрив покращує накопичення цукрів, прискорює достигання рослин і сприяє формуванню вищого вмісту сухої речовини, що є необхідним для отримання якісного силосу. Калій регулює водний обмін, сприяє синтезу вуглеводів і підвищує стійкість рослин, що додатково покращує силосні властивості зеленої маси.

Органічні добрива, зокрема гній, чинять багатосторонній вплив на рослини: вони забезпечують пролонговане надходження азоту та мікроелементів, стимулюють мікробіологічну активність ґрунту та покращують фізіологічний стан рослин. У комбінації з мінеральними добривами органічні речовини забезпечують більш збалансоване живлення та сприяють формуванню вищого вмісту сухої речовини, протеїну та цукрів у силосній масі.

Найбільш ефективним є застосування органо-мінеральної системи удобрення, яка поєднує швидкодію мінеральних добрив із покращенням фізико-хімічних властивостей ґрунту завдяки внесенню органічної речовини. За таких умов формується більш якісний силос із підвищеною поживністю та кращими ферментаційними властивостями, що є передумовою підвищення продуктивності тваринництва.

Таким чином, система удобрення має вирішальний вплив на якісні показники зеленої маси кукурудзи. Раціональне поєднання органічних і мінеральних добрив забезпечує найбільш збалансоване живлення та дозволяє отримати силос високої кормової цінності, що є важливою умовою ефективного функціонування кормової бази в господарствах.

У таблиці 6 наведено вплив різних систем удобрення на основні якісні показники силосної маси кукурудзи, що визначають її кормову цінність: вміст сухої речовини, сирого протеїну, жиру, крохмалю, клітковини та золи. Отримані дані свідчать про суттєву зміну хімічного складу зеленої маси залежно від типу та рівня удобрення.

Таблиця 6

Якісні показники отриманого врожаю (силосної маси), 2025 р

Варіант досліду	Суха речовина	Сирий протеїн	Сирий жир	Крохмаль	Клітковина	Зола
Без добрив (контроль)	32,5	8,2	2,4	26,4	24,2	4,8
$N_{50}P_{50}K_{50}$	31,7	8,9	2,3	27,6	23,1	5,3
$N_{100}P_{100}K_{100}$	30,5	9,5	2,3	28,2	22,3	5,9
$N_{200}P_{200}K_{200}$	29,1	10,1	2,1	29,5	20,8	6,5
$N_{50}P_{50}$+Гній 30 т/га	29,8	10,3	2,0	30,6	21,4	6,9

У контрольному варіанті вміст сухої речовини становив 32,5 %, що є найвищим показником у досліді. Зі зростанням норм мінеральних добрив відзначається поступове зниження цього показника: до 31,7 % ($N_{50}P_{50}K_{50}$), 30,5 % ($N_{100}P_{100}K_{100}$) та 29,1 % ($N_{200}P_{200}K_{200}$). Найнижче значення спостерігалося у варіанті з органо-мінеральною системою (29,8 %). Це закономірно, оскільки інтенсивніше ростові процеси та збільшення частки качанів у структурі врожаю сприяють підвищенню вологості маси.

Внесення добрив істотно підвищувало вміст сирого протеїну. Якщо в контролі він становив лише 8,2 %, то за внесення $N_{50}P_{50}K_{50}$ показник зростав до 8,9 %, за $N_{100}P_{100}K_{100}$ – до 9,5 %. Максимальний вміст протеїну отримано у варіантах $N_{200}P_{200}K_{200}$ (10,1 %) та органо-мінеральному ($N_{50}P_{50}$ + гній) – 10,3 %, що свідчить про кращий азотний режим та оптимальні умови білкового синтезу.

Вміст сирого жиру мав тенденцію до незначного зниження при посиленні рівня удобрення: від 2,4 % у контролі до 2,0-2,1 % у варіантах з високим рівнем мінерального та органо-мінерального живлення. Це відповідає загальним фізіолого-біохімічним закономірностям, коли інтенсивний ріст і більша частка стеблової маси зменшують відносний вміст жирів.

Вміст крохмалю є важливим показником енергетичної цінності силосу. Застосування добрив сприяло поступовому зростанню цього показника: від 26,4 % у контролі до 27,6–28,2 % у варіантах $N_{50}P_{50}K_{50}$ та $N_{100}P_{100}K_{100}$. Найвищі значення отримано за $N_{200}P_{200}K_{200}$ (29,5 %) та, особливо, за органо-мінерального удобрення (30,6 %), що свідчить про формування більшої частки качанів і покращення процесів вуглеводного обміну.

Вміст клітковини мав обернену залежність щодо рівня добрив: зі збільшенням дози мінерального та органо-мінерального живлення кількість клітковини знижувалась. У контролі вона становила 24,2 %, тоді як у варіантах $N_{100}P_{100}K_{100}$ та $N_{200}P_{200}K_{200}$ – 22,3 % і 20,8% відповідно. Органо-мінеральна система забезпечила 21,4%, що є важливим з погляду підвищення перетравності силосу.

Вміст золи, як показник рівня мінералізації також зростав із підвищенням рівня удобрення: від 4,8 % у контролі до 6,5-6,9 % у варіантах $N_{200}P_{200}K_{200}$ та органо-мінеральному. Це свідчить про краще забезпечення рослин макро- і мікроелементами на фоні удобрення.

Отже, застосування мінеральних добрив, особливо органо-мінеральних, суттєво покращує якісні показники силосної маси кукурудзи. Найвищі значення сирого протеїну, крохмалю та золи отримано за органо-мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{50}$ + гній 30 т/га), що дозволяє сформувати більш енергетично цінний та поживний силос із кращими ферментаційними властивостями. Зменшення вмісту клітковини на фоні удобрення також сприяє підвищенню перетравності корму.

Таким чином, органо-мінеральна система живлення забезпечує найсприятливіший вплив на якісний склад силосної маси, перевищуючи, як контроль, так мінеральні варіанти удобрення.

4.4 Вплив системи удобрення на накопичення нітратів у зеленій масі кукурудзи на силос

Нітрати – це солі азотної кислоти, які є нормальним продуктом обміну азотистих речовин будь-якої живої істоти. Нітрати є життєво необхідними, тому що без них неможливий нормальний ріст і розвиток організму. Проте, у разі перевищення ступеня навантаження цих речовин на організм людини чи тварини вони можуть негативно вплинути на стан здоров’я.

Інтенсивність накопичення нітратів у рослинах залежить від багатьох факторів. Зокрема, від виду та сорту рослин, умов їх мінерального живлення та стану ґрунту. Розподіл нітратів у рослинах пов'язаний з фізіологічною спеціалізацією і морфологічними особливостями окремих органів рослин, типом і розташуванням листя, розміром листового стебла і жилок, діаметром центрального циліндра в коренеплодах [777].

Серед основних факторів довкілля на накопичення нітратів в рослині найбільше впливає вологість, світло, температура повітря та ґрунтів. Зміна

вологості неоднозначно впливає на накопичення нітратів у рослинній продукції. Інтенсивне зволоження ґрунту посилює поглинання нітратів корінням, що у поєднанні із зниженими температурами, веде до надлишкового нагромадженню їх рослинами [20].

У таблиці 7 наведено вплив різних систем удобрення на накопичення нітратів у зеленій масі кукурудзи на силос. Значення чітко демонструють загальновідомі закономірності: збільшення дози мінеральних добрив супроводжується пропорційним зростанням умісту нітратів, тоді як органо-мінеральний варіант забезпечує помірне збільшення завдяки більш збалансованому живленню.

Вміст нітратів у контрольному варіанті становив 55 мг/кг, що відповідає природному рівню на ґрунтах із низькою забезпеченістю азотом.

$N_{50}P_{50}K_{50}$ – легка мінералізація азоту викликала підвищення нітратного вмісту до 115 мг/кг, що становить +60 мг/кг до контролю. Значення низькі й повністю безпечні для силосу.

Оптимальна азотна доза (N_{100}) спричинила суттєвіше накопичення нітраті на рівні 196 мг/кг, або +141 мг/кг відносно контролю. Значення залишається у межах безпечного рівня, характерного для добре забезпечених азотом посівів.

Таблиця 7

Вплив органо-мінерального живлення кукурудзи на силос на вміст нітратів у зеленій масі, мг/кг сирої маси

Варіант досліду	Вміст нітратів	Збільшення нітратів відносно контролю
Без добрив (контроль)	55	–
$N_{50}P_{50}K_{50}$	115	60
$N_{100}P_{100}K_{100}$	196	141
$N_{200}P_{200}K_{200}$	294	239
$N_{50}P_{50}$+Гній 30 т/га	142	92

Найвищий вміст нітратів – 294 мг/кг (+239 мг/кг) було відмічено у варіанті досліду $N_{200}P_{200}K_{200}$. Це закономірно, оскільки за надлишкового азоту рослина не встигає повністю відновлювати NO_3^- до амонійних форм. Попри це, рівень нітратів залишається набагато нижчим за небезпечні норми (1000–1500 мг/кг).

Органо-мінеральний варіант досліду ($N_{50}P_{50}$ + гній 30 т/га) забезпечив вміст нітратів на рівні 142 мг/кг, тобто +92 мг/кг до контролю. Органічний азот мінералізується повільніше, забезпечує рівномірне живлення, тому навіть за високого надходження азоту баланс NO_3^- нижчий, ніж за внесення N_{200} в мінеральній формі.

Отже, мінеральні добрива викликають поступове збільшення вмісту нітратів у зеленій масі кукурудзи, причому максимальні показники спостерігаються за $N_{200}P_{200}K_{200}$. Органо-мінеральна система забезпечує помірне накопичення нітратів, нижче за високу мінеральну дозу і на рівні середніх мінеральних норм. Усі значення залишаються безпечними з точки зору нормативів.

РОЗДІЛ V
ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА СИЛОС

Економічна ефективність вирощування кукурудзи на силос є важливим показником результативності виробництва кормів та характеризує взаємозв’язок між витратами на вирощування культури та отриманими результатами у вигляді обсягу, якості та вартості силосної продукції. Оцінка економічної ефективності включає комплекс методів аналізу витрат, урожайності, собівартості та рентабельності, що дозволяє встановити оптимальні технологічні рішення з точки зору економічної доцільності для конкретного господарства.

Економічна ефективність у рослинництві визначається співвідношенням між економічним результатом (вартістю продукції) і сукупними виробничими витратами. До основних критеріїв ефективності у вирощуванні кукурудзи на силос можна віднести:

- ✓ врожайність і якість силосної маси;
- ✓ собівартість отриманої продукціцї;
- ✓ валовий та чистий прибуток;
- ✓ рівень рентабельності вирощування кукурудзи на силос;

Такі показники дозволяють об’єктивно оцінити доцільність застосування певних систем удобрення, технологічних операцій та засобів інтенсифікації.

У системі факторів, що впливають на економічну віддачу від вирощування сільськогосподарських культур, одним із ключових є система удобрення**.** Це пояснюється тим, що рівень живлення є одним з основних лімітуючих чинників формування врожаю (внесення добрив може підвищити врожайність до 50 %), також правильна їх норма позитивно впливає на якісні показники майбутнього врожаю, тому економічна ефективність прямо залежить від правильного співвідношення між затратами на добрива та приростом врожаю.

У таблиці 8 наведено порівняльну економічну оцінку різних систем удобрення кукурудзи на силос із врахуванням врожайності, виробничих витрат,

доходу, прибутку та рівня рентабельності. Отримані дані зазначають вплив систем удобрення на продуктивність, як наслідок і на економічну ефективність.

Таблиця 8

Економічна ефективність систем удобрення кукурудзи на силос, 2025 р

Показник	Варіант досліду				
	Без добрив (контроль)	$N_{50}P_{50}K_{50}$	$N_{100}P_{100}K_{100}$	$N_{200}P_{200}K_{200}$	$N_{50}P_{50}$+ гній 30 т/га
Врожайність, т/га	41,2	50,4	53,0	47,8	57,6
Витрати на вирощування, грн/га	24 383	27 633	30883	37 383	33 783
Ціна реалізації продукції, грн/т	800				
Дохід	32 960	40 320	42 400	38 240	46 080
Прибуток	8 577	12 687	11 517	857	12 297
Рівень рентабельності, %	35,2	45,9	37,3	2,3	36,4

З даних таблиці бачимо, що із застосуванням добрив зростали витрати на вирощування культури, з найменшим показником у контрольному варіанті без добрив, від 24 383 грн/га до 37 383 грн/га. В нинішніх умовах вартість мінеральних добрив значно збільшує затрати на їх застосування, тому найвищі затрати отримано у варіанті досліду $N_{200}P_{200}K_{200}$.

За стабільної ціни реалізації силосу (800 грн/т) дохід зростав відповідно до врожайності і найбільший показник відмічався за органо-мінеральної системи удобрення і становив 46 080 грн/га. Поряд з цим варто відзначити, що вищий прибуток і рівень рентабельності відмічено у варіанті $N_{50}P_{50}K_{50}$ і становили 12 687 грн/га і 45,9 % відповідно. Варто відмітити, що різниця показників даного варіанту і варіанту $N_{50}P_{50}$+ гній 30 т/га незначна – 390 грн/га і 9,5 %.

Отже, зважаючи на незначну відмінність показників прибутку і рівня рентабельності варіантів $N_{50}P_{50}K_{50}$ і $N_{50}P_{50}$+ гній 30 т/га доцільніше застосовувати органо-мінеральну систему удобрення адже це забезпечить не лише високий прибуток, а і покращить властивості ґрунту, його біологічну активність, зменшення втрати поживних елементів і забезпечує їх пролонговану дію.

РОЗДІЛ VI
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

6.1. Охорона праці та моделювання небезпек під час вирощування кукурудзи на силос

Сільське господарство є однією з найскладніших і найнебезпечніших галузей виробництва, оскільки діяльність працівників тісно пов’язана з природними умовами, сезонністю, великою кількістю механізованих процесів, застосуванням хімічних речовин та біологічних препаратів. Особливості охорони праці в аграрному секторі визначаються специфікою технологічних процесів, різноманітністю виробничого обладнання, а також впливом метеорологічних факторів.

Вирощування кукурудзи на силос передбачає виконання комплексу механізованих польових робіт, пов’язаних із використанням сільськогосподарської техніки, хімічних засобів захисту рослин, добрив і зберіганням біомаси. Ці процеси супроводжуються підвищеним рівнем потенційних небезпек для працівників, що потребує дотримання правил охорони праці, техніки безпеки та санітарно-гігієнічних норм.

Основні вимоги регламентуються законами України «Про охорону праці», «Про охорону навколишнього природного середовища», а також «Правила охорони праці в сільському господарстві».

До основних заходів з охорони праці, які попередять виникнення небезпечних ситуацій можна віднести:

1. Інструктаж персоналу – первинний, повторний і цільовий відповідно до вимог чинного законодавства.

2. Медичний контроль – попередні та періодичні медогляди осіб, які працюють з пестицидами та мінеральними добривами.

3. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) – спецодяг із бавовняної тканини, гумові чоботи, респіратори, захисні окуляри, навушники.

4. Пожежна безпека – забезпечення техніки вогнегасниками, заборона паління поблизу складів пального та добрив.

5. Охорона навколишнього середовища – недопущення забруднення ґрунтів і водойм при зберіганні хімікатів, організація санітарно-захисної зони навколо полів.

Особливості охорони праці в сільському господарстві визначаються поєднанням природних, технологічних і хімічних факторів ризику. Забезпечення безпеки праці можливе лише за умови комплексного підходу – поєднання технічних, організаційних, санітарно-гігієнічних та правових заходів. Це є необхідною умовою стабільної роботи аграрного підприємства та збереження здоров'я працівників.

Модель небезпеки під час збирання кукурудзи на силос:

Небезпечна умова (НУ) 1 – відсутній контроль за технічним станом кормозбирального комбайна перед початком роботи;

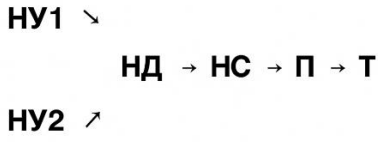
Небезпечна умова (НУ) 2 – наявність сторонніх осіб у зоні дії рухомих частин техніки;

Небезпечна дія (НД) – комбайнер проводить очищення або технічне обслуговування при ввімкненому приводі подрібнювального механізму;

Надзвичайна ситуація (НС) – потрапляння працівника чи його одягу до робочих органів комбайна, унаслідок чого виникає механічне травмування;

Подія (П) – пошкодження кінцівок або тулуба працівника;

Травмування (Т) – каліцтва, ампутації, летальний наслідок.



Модель небезпеки при збиранні кукурудзи на силос показує, що основним фактором ризику є механічна дія рухомих частин техніки внаслідок порушення правил безпечного обслуговування.

Запровадження систематичного контролю технічного стану машин, організаційна дисципліна та суворе дотримання інструкцій з охорони праці забезпечують запобігання нещасним випадкам під час польових робіт.

6.2. Охорона навколишнього природного середовища при застосуванні пестицидів та добрив

Застосування мінеральних добрив і пестицидів є важливою складовою сучасних агротехнологій, однак надмірне або неправильне їх використання може негативно впливати на стан ґрунтів, води, атмосферного повітря, а також на здоров'я людей і тварин. Завдання охорони навколишнього середовища полягає у мінімізації шкідливого впливу агрохімікатів шляхом дотримання екологічно безпечних норм, технологій внесення та систем контролю.!

Вплив мінеральних добрив на довкілля:

Мінеральні добрива (азотні, фосфорні, калійні) є необхідним елементом підвищення родючості ґрунту, однак при надмірних дозах можливе:

- засолення та закислення ґрунтів внаслідок накопичення іонів сульфатів, хлоридів, нітратів;

- вимивання нітратів у ґрунтові води, що може призвести до забруднення джерел питної води;

- накопичення нітратів у рослинах, що погіршує якість кормів і продукції;

- зміна мікробіологічної активності ґрунту та зниження його природної родючості.

Для запобігання цим процесам необхідно дотримуватися науково обґрунтованих доз добрив, враховуючи агрохімічні показники ґрунту та застосовувати органо-мінеральні системи живлення, що сприятиме покращенню структури ґрунту та зниженню втрат поживних речовин.

Вплив пестицидів на екосистеми:

Пестициди, залежно від групи (гербіциди, інсектициди, фунгіциди) мають різний спектр дії, але при порушенні норм застосування здатні:

- викликати забруднення поверхневих і підземних вод;

- спричинювати загибель корисних комах, мікроорганізміві птахів;

- накопичуватись у ґрунті та рослинній продукції, викликаючи біоакумуляцію у трофічних ланцюгах;

- формувати стійкість шкідливих організмів до діючих речовин, що вимагає посилення доз, відповідно посилює ризики.

Заходи екологічної безпеки при внесенні пестицидів і добрив:

1. Суворе дотримання регламентів застосування (норми витрати, концентрації робочого розчину, строків та кратності обробок).

2. Використання спеціалізованої техніки з герметичними системами розпилу та контролем тиску, що знижує знос пестицидів вітром.

3. Проведення робіт у сприятливих погодних умовах: швидкість вітру до 3-4 м/с, відсутність опадів, температура не вище 25 °С.

4. Захист водних об’єктів і населених пунктів: створення буферних смуг не менше 300 м до водойм і 500 м до житлової зони.

5. Зберігання агрохімікатів у спеціальних приміщеннях з герметичною підлогою, вентиляцією та ізоляцією від джерел тепла.

6. Утилізація тари з під пестицидів через спеціалізовані підприємства, заборона повторного використання ємностей.

7. Моніторинг стану ґрунту та води (систематичний аналіз залишкових кількостей нітратів, фосфатів і пестицидів).

Використання органо-мінерального живлення дозволяє зменшити екологічне навантаження за рахунок поступового вивільнення елементів живлення та покращення структури ґрунту. Органічні речовини зв’язують нітрати, зменшуючи їх вимивання і сприяють активізації ґрунтової мікрофлори.

Екологічно безпечне застосування пестицидів і добрив базується на принципах раціональності, контролю та профілактики забруднення.

Дотримання технологічних норм, правильна організація робіт і перехід до органо-мінеральних систем живлення забезпечують збереження природного балансу екосистем, підвищення ефективності добрив та захист здоров’я людей і навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження були спрямовані на визначення оптимальної системи удобрення для вирощування кукурудзи на силос, яка забезпечить отримання високого і якісного врожаю та забезпечить найвищу прибутковість. За результатами дослідження можна зробити наступні висновки:

- Мінеральна система з високими дозами ($N_{200}P_{200}K_{200}$) формує найкращий баланс азоту та фосфору і майже вирівнює баланс калію, що сприяє підвищенню продуктивності кукурудзи. Водночас органо мінеральна система ($N_{50}P_{50}$+гній 30 т/га) забезпечує більш збалансоване та екологічно безпечне живлення, позитивно впливає на структуру ґрунту, гумусний стан і біологічну активність.
- Оптимальним для забезпечення максимальної продуктивності кукурудзи на силос у 2025 році виявився органо-мінеральний варіант досліду $N_{50}P_{50}$ + гній 30 т/га, який забезпечив найвищу врожайність та найбільший приріст до контролю. Серед мінеральних систем найбільш ефективною була норма $N_{100}P_{100}K_{100}$, тоді як надвисока доза $N_{200}P_{200}K_{200}$ не дала очікуваного приросту продуктивності.
- Органо-мінеральна система живлення забезпечує найсприятливіший вплив на якісний склад силосної маси, перевищуючи, як контроль, так мінеральні варіанти удобрення. . Найвищі значення сирого протеїну, крохмалю та золи отримано за органо-мінеральної системи удобрення ($N_{50}P_{50}$ + гній 30 т/га), що дозволяє сформувати більш енергетично цінний та поживний силос із кращими ферментаційними властивостями. Зменшення вмісту клітковини на фоні удобрення також сприяє підвищенню перетравності корму.
- мінеральні добрива викликають поступове збільшення вмісту нітратів у зеленій масі кукурудзи, причому максимальні показники спостерігаються за $N_{200}P_{200}K_{200}$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Асанішвілі Н. М. Оптимізація мінерального живлення гібридів кукурудзи на основі рослинної діагностики. *Рослинництво та ґрунтознавство.* 2020. №11(3). 22–32.

2. 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.

3. 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.

4. Городній М. М., Мельник С. І., Маліновський А. С. Агрохімія. Київ : Алефа, 2003. 778 с.

5. Господаренко Г.М. Агрохімія. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2024. 572 с.

6. Господаренко Г. М. Агрохімія мінеральних добрив. Київ : Науковий світ, 2003. 136 с.

7. Господаренко Г. М., Черно О. Д. Баланс азоту в ґрунті польової сівозміни за 50-річного застосування добрив. *Землеробство*. 2016. Вип. 2 (91). С. 22–29.

8. Господаренко Г. М., Черно О. Д. Баланс азоту, фосфору та калію у польовій сівозміні за 40-річного застосування добрив. *Вісник Уманського ДАУ*. 2005. №12. С. 13–21.

9. Зерно та продукти його переробки. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії: ДСТУ 4117:2007. [Чинний від 2007–08–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 4 с. (Національний стандарт України).

10. Кутова А. М. Баланс макро- і мікроелементів у ґрунті за різних рівнів агрохімічного навантаження. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2011. №74. С. 109–112.

11. Лісовал А. П., Макаренко В. М., Кравченко С. М. Система застосування добрив: підручник. Київ : Вища школа, 2002. 317 с.

12. Любич В. В. Баланс основних елементів живлення в ґрунті за різних доз і строків внесення добрив під тритикале яре. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2011. №74. С. 107–109.

13. Марчук І. У., Макаренко В. М., Розстальний В. Є., Савчук А. В. Добрива та їх використання. Київ : Дія, 2002. 256 с.

14. Медведовський О. К. Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ : Урожай, 1988. С. 5−9.

15. Мокрієнко В. А. Мінеральне живлення кукурудзи. *Агроном*. 2009. № 2. С. 102–104.

16. 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.

17. Паламарчук В. Д., Дідур І. М., Колісник О. М., Алєксєєв О. О. Аспекти сучасної технології вирощування висококрохмальної кукурудзи в умовах Лісостепу правобережного. Вінниця : ТОВ «Друк», 2020. 536 с.

18. Паламарчук В. Д., Поліщук І. С., Єрмакова Л. М., Каленська С. М. Біологія та екологія сільськогосподарських рослин. Вінниця: ФОП Данилюк, 2013. 636 с.

19. Поліщук М. І., Паламарчук О. Д. Вплив позакореневих підживлень на продуктивність гібридів кукурудзи. *Сільське господарство та лісівництво*. 2016. №. 4. С. 102-109.

20. Разанов С. Ф., Чернова А. О. Особливості накопичення нітратів у рослинах та їх продукції. *Збірник наукових праць ВНАУ. Збалансоване природокористування – перспектива розвитку суспільства*. 2016. С. 55–56.

21. Роїк М. В., Курило В. Л., Сінченко В. М., Присяжнюк О. І. Визначення економічної ефективності технологій, нової техніки, винаходів та завершених наукових розробок в рослинництві: методичні рекомендації. Київ : ІБКіЦБ НААН. Нілан ЛТД, 2013. 90 с.

22. Сатановська І. П. Вплив обробки насіння та позакореневих підживлень на біометричні показники рослин кукурудзи. *Корми і кормовиробництво.* 2013. Вип. 75. С. 62–67.

23. Сичук Л. Виробництво біопалива: вплив мінеральних добрив та ширини міжрядь на продуктивність цукрового сорго. *Цукрові буряки*. 2012. № 4. С. 15–16.

24. Тараріко Ю. О. Енергозберігаючі агроекосистеми. Оцінка та раціональне використання агроресурсного потенціалу України (рекомендації на прикладі Степу і Лісостепу). Київ : Діа, 2011. 576 с.

25. Технологічні карти та витрати на вирощування сільськогосподарських культур з різним ресурсним забезпеченням / за ред.: Д. І. Мазоренка, Г. Є. Мазнєва. Харків : Вид-во ХНТУСГ. 2006. 725 с.

26. Удобрення овочевих та баштанних культур: монографія [за ред. В. Ю. Гончаренка і С. І. Корнієнка]. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД». 2015. 370 с.

27. Філон В. І. Мікродобрива. Довідник : Харків, 2018. 242 с.

28. Шинкарук Л. М. Вплив макро- та мікродобрив на врожайність кукурудзи. *Вісник ЛНАУ*. 2021. № 25. С. 162–166.

29. Щокін А.Р., Колесник Ю.В., Новак А.Г., Циганков С.П. Перспективи виробництва і застосування біопалива в Україні. *Енергоінформ*. № 48. 2004. С. 6.

30. Ярошко М. Значення фосфору у живленні сільськогосподарських культур. *Агроном*. 2013. № 3. С. 30–32.

31. 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.

32. 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.

33. Bekunda M., Manzi G. Use of the partial nutrient budget as an indicator of nutrient depletion in the highlands of southwestern Uganda. *Nutr Cycl. Agroecosys*. 2003. Vol. 67. P. 187–195.

34. 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.

35. Gheysari M., Mirlatifi S.M. Bannayan M., Homaee M., Hoogenboom G. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. *Agric. Water Manag.* 2009. 96. pp. 809–821.

36. Handbook of Maize: Its Biology J. L. Bennetzen and S.C. Hake (eds.). Springer Science Business Media, LLC, 2009. pp. 145–344.

37. 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.

38. 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.

39. 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.

40. 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.

41. 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.

42. 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.

43. 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.

44. Tang Y. et al. Bio-Organic Fertilizer Application Enhances Silage Maize Yield by Regulating Soil Physicochemical and Microbial Properties. *Microorganisms*. 2025. Vol. 13(5): 959.

45. 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*

46. Wysokinski A., Kożuchowska M. Increasing Silage Maize Yield and Nitrogen Use Efficiency as a Result of Combined Rabbit Manure and Mineral Nitrogen Fertilization. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14: 5856.

47. Wang X. et al. Applications of Organic Manure Increased Maize (Zea mays L.) Yield and Water Productivity in a Semi-Arid Region. *Agricultural Water Management*. 2017. Vol. 187: 88–98.

48. Xiong B. et al. Effects of Organic Fertilizer Substituting Chemical Fertilizer on the Growth and Quality of Summer Silage Maize in Beijing Suburbs. *Soil and Fertilizer Sciences in China*. 2021. No. 3: 141–147.

49. Yang Y. et al. Effects of Biogas Slurry Derived from Cow Dung on the Yield and Quality of Wheat and Silage Maize. *Journal of Ecology and Rural Environment*. 2023. Vol. 39(2): 264–272.

ДОДАТКИ