

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

05.09-МКР.2254“С“2023.12.12.09 ПЗ

ЗВАРИЧА ЄВГЕНІЯ СЕРГІЙОВИЧА

2024 рік

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет (ННІ) Агробіологічний _____

УДК 631.5:633.16/.35

ПОГОДЖЕНО
Декан факультету агробіологічний
_____ проф. В.П.Коваленко
“ ____ ” _____ 2024 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри ґрунтознавства
_____ проф. В.О.Забалуєв
“ ____ ” _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «Порівняння українських та європейських методів визначення
рухомих форм калію в ґрунтах»**

Спеціальність _____ 201 “Агрономія” _____

(код і назва)

Освітня професійна програма «Агрохімія і ґрунтознавство» _____

Гарант освітньої програми
доктор с.-г. наук, професор _____

В.О.Забалуєв

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи
доктор с.-г. наук, професор _____

О.Л.Тонха

Виконав _____

Є.С. Зварич

КИЇВ – 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Агробіологічний факультет

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри ґрунтознавства та охорони
ґрунтів ім. професора М.К. Шикули

д.с.-г. н., проф. _____ В.О. Забалуєв
(підпис)

" _____ " _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

до виконання кваліфікаційної магістерської роботи студенту

Зварича Євгенія Сергійовича

Спеціальність 201 “Агрономія”

Тема магістерської роботи: **«Порівняння українських та європейських методів визначення рухомих форм кальцію в ґрунтах»**

Затверджена наказом ректора НУБіП України від 31 серпня 2024 р. №92 «З»

Термін подання студентом магістерської роботи 2024.10.24

Вихідні дані до роботи: фондові матеріали господарства

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Охарактеризувати значення сполук калію для росту і розвитку сільськогосподарських культур, підвищенні врожайності.
2. Методи визначення калію в рослинах та ґрунті.
3. Визначити в ґрунті вміст сполук калію за методом полум'яної фотометрії.
4. Оцінити вміст сполук калію в ґрунті за різних концентрацій.
5. Визначити урожайність кукурудзи на зерно за різних рівнів забезпечення рухомими сполуками калію.

Дата видачі завдання «__» _____ 20__ р.

Керівник магістерської
роботи _____

Завдання прийняв _____
(підпис)

до виконання _____

Тонха О.Л.

Зварич Є.С.

РЕФЕРАТ

Зварич Є.С. Порівняння українських та європейських методів визначення рухомих форм калію в ґрунтах. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 201 – Агрономія. НУБІП, Київ, 2024.

Дипломна робота викладена на 48 стор. друкованого тексту і спрямована на порівняння українських і європейських методик аналізу рухомих сполук калію в ґрунті. Встановлено, що визначення вмісту рухомих сполук калію у формі Са у витяжці амонію лактату з закінченням на ІСР незалежно від показника кислотності ґрунту відповідає ДСТУ 4115-2002. За використання методу полуменевої фотометрії (вподальшому ПФ) і потім розрахунку норм добрив отримано заниження результатів на 10%. Діапазон лінійності калібрування як по К, так і по Са – 100 мг/л. Тому, значення вище 100 мг/л, особливо 500 чи 800 мг/л – недостовірні: там калібрувальна залежність «виходить на полицю». Тому, для отриманих високих значень концентрації калію 382, 541 чи 819 мг/л можна зробити не кількісний, а якісний висновок: «калію в розчині дуже багато, і його заважаючий вплив - значний». Полуменево-фотометричне вимірювання К в присутності приблизно 300 мг/л Са, приводить до заниження результату приблизно на 8%. Високий вміст Са в розчині, приводить до заниження результату вимірювання К приблизно на 20%.

Диференційне застосування добрив (азотних, фосфорних, калійних і кальцієвих) призводить до збільшення врожайності кукурудзи на зерно від 3,04 т/га до 3,82 т/га.

Зміст

РОЗДІЛ 1. ЗНАЧЕННЯ КАЛІЮ У ЖИВЛЕННІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР, МЕТОДИ ЙОГО ВИЗНАЧЕННЯ.....	9
1.1 Значення калію в живленні сільськогосподарських культур	9
1.2 Динаміка використання калію рослинами	10
1.3 Методи визначення калію в рослинах та ґрунті	12
1.4.Вплив калію добрив на урожайність кукурудзи на зерно	17
РОЗДІЛ 2. ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНІ УМОВИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	20
2.1 Методика досліджень	20
2.2 Загальні відомості про дослідне господарство	22
РОЗДІЛ 3.....	26
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ СПОЛУК КАЛІЮ В ҐРУНТАХ І РОЗЧИНАХ.....	26
3.1. Загальні положення з аналізу сполук калію.....	26
3.2 Порівняння результатів визначення доступних для рослин сполук калію різними розчинами.....	27
РОЗДІЛ 4.....	33
ОЦІНКА ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ ҐРУНТУ РУХОМИМИ ФОРМАМИ КАЛІЮ І КАЛЬЦІЮ, ВПЛИВ ДИФЕРЕНЦІЙНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДОБРИВ НА УРОЖАЙНІСТЬ КУКУРУДЗИ.....	33
4.1. Забезпеченість рухомим калієм в ґрунті	33
4.2. Фізико-хімічні показники ґрунту	34
4.3. Статистичний аналіз досліджуваних результатів і диференційна норма внесення добрив	38
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ ЗА ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОГО ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ	39
ВИСНОВКИ	44
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	46

ВСТУП

Калій є одним з основних елементів живлення, що оптимізує у рослинах кислотно-лужний баланс, підвищує фотосинтетичну активність, прискорює відтік і здатність до накопичення продуктів фотосинтезу, бере активну участь у білковому і вуглеводному обміні, активує діяльність більш як 60 ферментів і ферментативних систем, підвищує водоутримувальну здатність. Тому забезпеченість рослин калієм підвищує їх стійкість до посухи, несприятливої дії високих і низьких температур. Під впливом калію рослини стають більш морозостійкими; посилюється синтез целюлози і пектинових речовин, що підвищує міцність тканин; потовщуються стінки соломи, що збільшує стійкість рослин проти вилягання, особливо на тлі інтенсивного азотного живлення [4].

Отже, функціональне значення калію в рослинах багатогранне. За калійного голодування проходить багато порушень у процесі обміну речовин у рослинах. Дані агрохімічного обстеження свідчать, що площі з низьким і середнім вмістом обмінного калію у ґрунтах України збільшуються. Багатогранні функції калію (екологічні, фізіолого-біохімічні, агрохімічні) та зростаюча в часі реакція сільськогосподарських культур на цей біогенний елемент потребують перегляду стратегії оцінювання забезпеченості ґрунтів та умов оптимізації живлення ним рослин. Практика рослинництва останніх десятиліть показала, що без мінеральних добрив не можливо підвищити продуктивність сільськогосподарських культур і вести прибуткове сільське господарство в Україні. Тому обсяги застосування мінеральних добрив, у тому числі і калійних, постійно збільшуються [25].

Калій, один із трьох макроелементів, необхідних рослинам у найбільших кількостях, був необ'єктивно проігнорований в останніх 10–15 років. За даними науковців Інституту агрохімії та ґрунтознавства ім. Соколовського, на сьогодні в Україні в середньому вносять лише 8 кг K_2O на га посівної площі, тоді як у період 1980–1991 рр. ця цифра становила приблизно 42 кг K_2O [5].

В непростих економічних умовах, що склалися в 90-х роках і потім періодично повторювались у 2000-х, зниження доз калію було виправданим. З

одного боку, його внесення менше, порівняно з азотом і фосфором, сприяє підвищенню врожайності, а з іншого – чорноземні ґрунти України містять значні запаси калію, тому можуть частково забезпечити потреби рослин.

Ґрунти України на площі 70% мають підвищений і високий вміст рухомих сполук калію. Вважається, що для відновлення їхнього калійного режиму необхідно щорічно вносити з добривами 35 кг/га K_2O . На чорноземах Лісостепу розраховану балансовим методом дозу калійних добрив за органо-мінеральної системи удобрення можна зменшити на 20%. На чорноземах типових, вилужених і опідзолених із вмістом рухомих сполук калію 80–180 мг/кг (за методом Чирикова) у районах нестійкого зволоження повернення вилученого з урожаєм калію має бути на рівні 40–60% [18].

Проте нині, коли вітчизняне агровиробництво починає стрімко розвиватись і для української продукції відкривається дедалі більше ринків збуту, а також розвивається сектор переробки, на перший план виходять питання якості та безпечності, у вирішенні яких калій є ключовим елементом. Відтак завдання агронома на сьогодні – не лише виростити максимальний врожай, а й домогтись його високої якості при мінімальних затратах. Крім того, щоб українська земля й надалі була родючою і служила майбутнім поколінням, слід мінімізувати таке явище хімічної деградації ґрунту, як засолення.

Тому, наші дослідження були спрямовані на порівняння методів аналізу калію в ґрунті залежно від вмісту кальцію в ґрунті і менеджмент калію за вирощування кукурудзи на зерно.

РОЗДІЛ 1. ЗНАЧЕННЯ КАЛІЮ У ЖИВЛЕННІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР, МЕТОДИ ЙОГО ВИЗНАЧЕННЯ

1.1 Значення калію в живленні сільськогосподарських культур

Калій є одним із 17 елементів живлення, необхідних для росту та розвитку сільськогосподарських культур. Нарівні з азотом і фосфором, він входить до групи NPK, яку неодмінно слід вносити з добривами для отримання стабільних врожаїв [11].

На відміну від азоту та фосфору, калій виноситься із врожаєм у невеликій кількості, оскільки він переважно зосереджений у соломі та інших пожнивних рештках культур. Калій слугує регуляторним і транспортним «агентом» у рослині, а головне – сприяє оптимізації якості, за що його називають також «елементом якості» [11].

Так, гармонійне живлення калієм забезпечує гарний вигляд плодів овочів і фруктів – розмір, форму та колір; покращується текстура плодів і ягід; зростає вміст вітамінів, крохмалю, цукрів та інших цінних компонентів. Досить вагома роль калію в регулюванні лежкості продукції та збереженні її товарного вигляду.

Калій також підвищує стійкість рослин до шкідників і хвороб, регулює водний режим та підвищує стійкість до посух, а також покращує розвиток кореневої системи.

Рослини здатні поглинати калій у вигляді іону (K^+) безпосередньо з ґрунту. Проте в інтенсивному сільському господарстві лише ґрунтові його запаси не здатні повністю забезпечити зростаючі потреби високоврожайних культур. В такому разі можуть спостерігатись такі симптоми дефіциту калію [14]: сповільнення росту; дрібне та щупле зерно/насіння; зниження ефективності використання води; погано розвинена коренева система; часте вилягання посівів (злакові) та слабе стебло; зменшення врожаю; зниження стійкості до хвороб і вимерзання; погіршення поглинання азоту.

Злакові культури потребують калію, хоча і в меншій кількості, ніж соняшник чи ріпак. Особливо потрібно зважати на можливість вилягання посівів і запобігати цьому шляхом оптимізації калійного живлення. Овочеві та кормові культури виносять лише 4–8 кг/т, проте за рахунок високої врожайності винос за рік із гектара буде суттєвим. Крім того, на сьогодні якість овочевої продукції виходить на передній план, і без калію тут не обійтись [16].

Безперечно, оптимізація калійного живлення дає й фінансову вигоду. Так, наприклад, ціна на ячмінь пивоварний може бути вищою на 40–50% порівняно з фуражним лише завдяки покращенню показників якості (вмісту крохмалю та крупності зерен) за рахунок ефективного удобрення калієм.

1.2 Динаміка використання калію рослинами

За даними університету Мінесоти (США), якість поглинання калію культурами залежить від кількох чинників [18]:

Вологість ґрунту. Чим вища вологість ґрунту, тим краща доступність калію рослинам. Підвищення вмісту вологи у ґрунті асоціюється з кращим надходженням калію в рослину через кореневу систему. Дослідження засвідчили, що культури краще реагують на удобрення калієм в посушливі роки. Аерація ґрунту та рівень кисню. Наявність повітря є необхідною умовою для кореневого дихання та поглинання калію. Коренева діяльність і, відповідно, поглинання калію знижується в міру наближення рівня вологи ґрунту до повної вологоємності, за якої рівень кисню буде низьким.

Температура ґрунту. Коренева активність, функціонування рослини та фізіологічні процеси покращуються з підвищенням температури. Таке збільшення фізіологічної активності, в свою чергу, сприяє кращому поглинанню калію. Оптимальною температурою для поглинання є 16–27°C. За низьких температур спостерігається зниження поглинання.

Система обробки ґрунту. Доступність калію знижується за використання No-till і гребеневої системи посадки. Точна причина такого явища іще не

з'ясована. Дослідження свідчать про можливі обмеження для росту коренів та їх поширення у товщі ґрунту.

На відміну від азоту та фосфору, лише невелика кількість калію виноситься з врожаєм, оскільки переважна його кількість зосереджена у соломі та інших пожнивних рештках культур [19].

Ґрунти України мають досить контрастний вміст калію, що пояснюється різними мінералогією та гідротермічним режимом. Найнижча забезпеченість культур калієм спостерігається у ґрунтах легкого гранулометричного складу в Поліссі. Водночас у зонах Степу та Сухого Степу вміст калію у ґрунті настільки високий, що в офіційних рекомендаціях щодо удобрення він відсутній для культур з невисоким виносом (пшениці, ячменю). Проте тут слід пам'ятати про правило оптимального зволоження. Дефіцит вологи навіть у ґрунтах із дуже високим вмістом калію може спричинити зниження надходження останнього до рослин. Висока ефективність калію навіть без внесення азоту та фосфору спостерігається на торф'яних ґрунтах, тому тут його доцільно вносити в першу чергу.

Особливо слід звертати увагу на внесення калію на ґрунтах, забруднених радіонуклідами. Справа в тому, що калій і цезій є аналогами. Навіть за найменшого зниження вмісту доступного калію в ґрунті рослини будуть поглинати цезій, приймаючи його за калій. За даними академіка І. М. Гудкова, внесення калійних добрив на бідних на цей елемент ґрунтах призводить до зниження забруднення цезієм плодів овочів та картоплі в 4–8 разів, зерна злаків та зернобобових – в 3–6 разів, волокон льону – в 3–7 разів. Причому найвищий ефект на різних культурах і ґрунтах спостерігався при підвищенні дози калію з 0 до 120–180 кг/га. Подальше зростання дози калію також зменшує вміст цезію, але це буде економічно недоцільним і може призвести до надлишкового надходження солей [21].

Отже, для отримання безпечного врожаю сільськогосподарських культур в Україні, певна частина ґрунтів якої забруднена радіонуклідами, внесення калійних добрив є обов'язковим заходом.

1.3 Методи визначення калію в рослинах та ґрунті

Калій (К) є вирішальним елементом для живлення рослин, і на його наявність і просторовий розподіл у сільськогосподарських ґрунтах впливає багато агроекологічних факторів. Аналіз вмісту калію за дослідженнями Rangel та ін. (2010) в ґрунті в кантоні Фрібург за чотирма різними методами екстракції показав, що загальна кількість загального калію в ґрунті становила в середньому $13,6 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$ зі значними варіаціями на різних ділянках ($5,1\text{--}22,1 \text{ г} \cdot \text{кг}^{-1}$). На просторовий розподіл загального вмісту калію вплинули відносно тривалі процеси ґрунтоутворення, як припускає (i) значна глобальна просторова автокореляція на 10-кілометровому масштабі (I Морана = 0,43); (ii) значні відмінності, що спостерігаються між типами ґрунту та вихідними матеріалами ґрунту, і (iii) значні кореляції з атрибутами землі, такими як висота ($r = -0,51$). З іншого боку, доступні середні форми калію суттєво відрізнялися в різних землекористуваннях, причому найвищі середні значення доступного калію зустрічалися на постійних луках, від $46,3 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ (вилучення води) до $198 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ (ацетат амонію). + екстракція EDTA). Усі К-форми (загальна та доступна) продемонстрували подібні просторові регіональні моделі для всіх методів просторової інтерполяції, причому території, де переважають постійні пасовища та сільськогосподарські культури, мають вищі значення. Однак ці тенденції були менш вираженими для доступних форм К через поширеність внутрішньогосподарських методів управління цими формами К (наприклад, удобрення), що, ймовірно, спричинило високу просторову та часову мінливість. Ця гіпотеза була підтверджена просторовим кластеризуванням низького та/або високого статусу родючості К, що могло бути пов'язане з місцевими конкретними методами землеробства [43].

Для точної оцінки факторів у дослідженнях Najafi-Ghiri та ін. (2011), що впливають на розподіл запасів калію, було визначено різні запаси калію в 197 поверхневих і підповерхневих зразках ґрунту залежали від мінералогічного аналізу ґрунту і вмісту смектиту, слюди, хлориту і палигорскіту у фракціях

глини. Були отримані значні зв'язки між обмінним, необмінним, мінеральним і загальним калієм із вмістом слюди, СЕС, еквівалентом карбонату калію та вмістом глини. Натомість ґрунти з ксеричним режимом зволоження та мезикотемператури мали найвищий вміст різних пулів калію. Потрібні подальші дослідження, щоб вивчити взаємозв'язок між цими результатами та реакцією рослин і поглинанням К [44].

ГРАВІМЕТРІЯ (ваговий аналіз; лат. gravimetria < лат. gravis — важкий + грец. metron — мірка) — метод кількісного аналізу, що базується на точному вимірюванні маси досліджуваного компонента аналізованої суміші чи досліджуваної речовини, виділеної у хімічно чистому вигляді або у вигляді хімічної сполуки з точно відомим складом.

Розрізняють гравіметричні методи осадження, відгонки та виділення.

У методах осадження досліджуваний компонент кількісно осаджують хімічними способами у вигляді малорозчинної сполуки сталого складу (осаджена форма). Утворений осад піддають аналітичній обробці, тобто відокремлюють фільтруванням, декантацією або іншим способом, промивають від залишків сорбованих осадом компонентів, іноді переосаджують. Потім підсушують або прожарюють до утворення стійкої сполуки зі сталим складом (гравіметрична чи вагова форма), масу якої вимірюють на аналітичних терезах. Осаджена і гравіметрична форма можуть збігатися або відрізнитись. Напр. при визначенні Ba^{2+} осаджена і гравіметрична форми — $BaSO_4$; при визначенні Ca^{2+} осаджена форма — CaC_2O_4 , гравіметрична форма — CaO або $CaCO_3$.

Гравіметричні методи осадження дозволяють кількісно визначити практично всі найбільш важливі катіони та аніони неорганічної природи, а також низку органічних сполук, у т.ч. і лікарських, напр. лактозу в молочних продуктах, саліцилати в лікарських речовинах, нікотин в отрутохімікатах, холестерин у сироватці крові.

У методах відгонки досліджуваний компонент відокремлюють з аналізованої проби і кількісно відганяють у вигляді леткої сполуки. Метод відгонки називають прямим, якщо масу газоподібної речовини вимірюють

безпосередньо або за приростом маси поглинальної трубки. Напр. визначення вмісту CO_2 в CaCO_3 здійснюють за збільшенням маси попередньо зваженої на аналітичних терезах поглинальної трубки з NaOH . Метод відгонки називають непрямим, якщо масу леткої речовини визначають за різницею мас до і після відгонки (напр. вміст вологи у препаратах, кристалізаційної води, іноді — карбонатів, сульфідів, сульфатів після обробки проб кислотою).

ТИТРИМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ — один із найбільш важливих розділів кількісного об'ємного аналізу (див. Об'ємний аналіз), представлений великою кількістю титриметричних методів, що базуються на визначенні об'єму розчину реагенту, необхідного для взаємодії з компонентом, який визначають.

У титриметричних методах до розчину речовини, що визначають, поступово додають розчин реактиву (титранту) точно відомої концентрації. Додавання титранту продовжують, доки його кількість не стане еквівалентною тій речовині, яку визначають. Оскільки титриметричні методи є хімічними, кожен з них ґрунтується на певній хімічній реакції (до яких висуваються відповідні вимоги). За типом хімічної реакції розрізняють кислотно-основне, осаджувальне, комплексометричне та окисно-відновне титрування. Для визначення кінцевої точки титрування використовують відповідні хімічні індикатори (кисотно-основні, адсорбційні, металохромні, редокс-індикатори та ін.), інструментальні методи аналізу (потенціометричний, фотометричний, кондуктометричний, амперометричний). У ряді випадків можливе безіндикаторне визначення кінцевої точки титрування (перманганатометрія, цериметрія, йодохлориметрія та ін.). Вибір індикатора проводять за продуктами хімічної реакції чи за кривими титрування, що являють собою залежність певного фізичного параметра розчину від об'єму (маси) — титранту. У разі, якщо реакція між компонентами, що визначаються, і титрантом проходить повільно, використовують зворотне титрування (до розчину компонента, який визначають, додають точно відомий надлишок першого титранту, який відтитрують іншим титрантом).

Якщо компонент, який визначають, не реагує з титрантом або реакція не стехіометрична, використовують також різні види непрямого титрування (титрування замісника, визначення за вмістом продуктів реакції титрування, за різницею тощо). У ряді випадків застосовують реверсійне титрування — розчином речовини, яку визначають, титрують стандартний розчин титранту. Залежно від того, розчин якого титранту застосовують для визначень, кожен із титриметричних методів має відповідну назву (напр.: аргентометрія — AgNO_3 , меркуриметрія — $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$, броматометрія — KBrO_3 , цериметрія — $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$ тощо).

Титриметричні методи широко застосовують у фармації для визначення складу різних сполук неорганічної та органічної природи. Дані Т.а. використовують для дослідження будови речовин, визначення констант іонізації кислот і основ, вивчення кінетики хімічних реакцій та ін.

АТОМНО-АБСОРБЦІЙНИЙ СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ - метод аналізу, який проводиться за селективним поглинанням світла атомами речовини, переведеної в атомарний газоподібний стан. Випромінювання від джерела світла, проходячи через пари речовини на частотах, які співпадають з частотою переходу електрона з основного рівня на найбільш близький до нього, поглинається (резонансна лінія), а за ступенем послаблення інтенсивності спектральних ліній досліджуваного елемента визначають його концентрацію у зразку.

Для атомізації проби необхідна температура $\sim 2000\text{--}3000$ °С. У цьому температурному інтервалі застосовуються атомізатори полуменеві, електротермічні, а також ВЧ- і НВЧ-розряд, але найчастіше — полуменеві, які працюють на суміші ацетилен-закис азоту. В цьому температурному інтервалі понад 90% атомів знаходяться не у збудженому стані, тому інші атоми і молекули не можуть вплинути на коефіцієнт поглинання. Цей факт поряд із малою кількістю ліній поглинання зумовлює високу вибірковість цього методу. Джерело світла випромінює лінійчастий спектр, який містить необхідну лінію елемента, що визначається. Як джерела випромінювання використовують лампи

з порожнистим катодом, безелектродні газорозрядні лампи, перестроювальний лазер. Суттєвим недоліком методу атомної абсорбції, порівняно з методом атомно-емісійного спектрального аналізу, є неможливість одночасного виявлення у пробі кількох елементів і необхідність їх послідовного визначення. Методика проведення атомно-абсорбційного аналізу, порівняно з іншими методами атомного спектрального аналізу, значно простіша і дає змогу визначати до 70 елементів з чутливістю $\sim 10^{-4}$ – 10^{-9} % маси не тільки низьких, але й високих концентрацій у пробах. На сьогодні метод А.-а.с.а. вважається одним із найбільш селективних, експресних, продуктивних, точних і водночас відносно дешевих методів.

СПЕКТРОФОТОМЕТРІЯ — метод аналізу, що базується на визначенні спектра поглинання або вимірюванні світлопоглинання при певній довжині хвилі, яка відповідає максимуму кривої поглинання досліджуваної речовини. Аналіз здійснюють за поглинанням речовинами монохроматичного випромінювання у видимій, УФ- і ІЧ-ділянках спектра.

С. використовують для ідентифікації сполук, дослідження складу, будови і кількісного аналізу індивідуальних речовин і багатокомпонентних систем. Криву залежності поглинання від довжини хвилі або хвильового числа називають спектром поглинання речовини. Ця крива є специфічною характеристикою певної речовини. Якісний аналіз речовин за їх спектрами поглинання проводять двома способами: за відомими параметрами спектра поглинання досліджуваної речовини; порівнянням спектрів поглинання розчину стандартної речовини і розчину досліджуваної речовини одного й того ж складу. Застосування в аналізі методу спектрофотометрії, як і інших фотометричних методів, ґрунтується на використанні для визначення концентрацій речовин закону Бугера — Ламберта — Бера: $\lg(I_0/I) = \chi \cdot C \cdot l$, де I_0 — інтенсивність електромагнітного випромінювання, що падає на розчин речовини; I — інтенсивність електромагнітного випромінювання, яке пройшло через розчин речовини; l — товщина шару розчину; C — концентрація розчину, що досліджується; χ — показник поглинання розчину. Величину $\lg(I_0/I)$ називають

оптичною густиною. Її позначають буквами А або D. Показник поглинання χ — константа для кожної речовини при певній довжині хвилі світлового випромінювання. Вона дорівнює оптичній густині розчину з концентрацією та товщиною шару, що дорівнюють одиниці. Якщо концентрацію виражають у моль/дм³, то χ позначають через ε і називають молярним коефіцієнтом світлопоглинання (молярний коефіцієнт екстинкції).

ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ — група методів, що базуються на вимірюванні та реєстрації електричних параметрів (електропровідності, потенціалу електрода, кількості електрики, сили граничного дифузійного струму та ін.), величини яких функціонально пов'язані зі значенням концентрацій компонентів, що аналізують. У літературі описано понад 75 Е.м.а. та їх варіантів.

Характерною особливістю Е.м.а. є широкий діапазон визначуваних концентрацій (1–1·10⁻⁹ моль/дм³), висока точність та відтворюваність визначень, простота автоматизації аналізу.

Е.м.а. поділяють на три групи: 1 — методи аналізу, пов'язані з перебігом реакцій на електродах; 2 — методи аналізу, не пов'язані з перебігом реакцій на електродах; 3 — методи аналізу, пов'язані зі зміною структури подвійного електричного шару на межі розділу електрод — розчин. До першої групи методів належать різні варіанти потенціометрії, кулонометрії і вольтамперометрії. До другої групи — різні варіанти кондуктометрії і діелектрометрії. До третьої групи належать методи, що базуються на вимірюванні нефарадеївського імпедансу (тензаметрія) і поверхневого натягу на межі поділу електрод — розчин, що аналізують.

1.4. Вплив калію добрив на урожайність кукурудзи на зерно

Достатня кількість калію дуже важлива для кукурудзи, дефіцит калію призводить до зменшення качанів. Хорошим джерелом цього елемента є гній.

Гній є цінним джерелом калію — у гної великої рогатої худоби вміст цього елемента становить близько 0,65%, свинячий гній містить трохи більше калію

(0,68%). У свою чергу, найбагатшим джерелом калію (якщо говорити про природні добрива) є овечий і кінський гній (в обох випадках понад 0,9%).

Зазначається, що важливе відносно велике використання калію в перший рік. Тоді як азот і фосфор зазвичай мало використовуються рослинами в перший сезон після внесення, поглинання калію становить в середньому до 75% (залежно від умов, принаймні від 60% до навіть 90%).

«Отже, вносячи максимально допустиму дозу гною на рівні приблизно 35 т/га (тоді ми вносимо трохи менше 170 кг N/га), ми також забезпечуємо 227 кг/га калію в ґрунт. Це означає, що його споживання коливатиметься від 136 до 204 кг/га в перший рік. Це велика доза, доступна рослинам у перший сезон. Якщо врахувати, що на кожну тону зерна кукурудза потребує 25-30 кг калію, то виходить, що гній дозволяє значно скоротити внесення цього елемента з мінеральних добрив. Однак це не той фактор, який дозволяє повністю відмовитися від підживлення К. За врожайності 10 т/га кукурудзу необхідно забезпечити 250-300 кг калію на кожен гектар. Як бачимо, максимальна доза гною великої рогатої худоби задовольняє потребу в елементі не більше, ніж на 90%, а з урахуванням надходження в перший рік на 45-80% (залежно від надходження, але в середньому не менше 75%)», — йдеться у повідомленні.

Зазначається, що при цьому слід враховувати обсяги наявного калію у ґрунті. На ґрунтах з підвищеним вмістом калію дозу мінеральних добрив можна ще зменшити. У господарствах, де використовують циклічно високі дози гною, звичайною практикою є повна відмова від калійних добрив.

«Дефіцит калію безпосередньо впливає на зменшення качанів у зернових посівах, тож треба пам'ятати, що в кукурудзи на силос цей чинник не такий важливий. Тож, навіть незважаючи на високе удобрення гноєм, зернову кукурудзу варто ще підживлювати калієм. Пам'ятайте, що це потрібно зробити раніше, наприклад, під час першої культивуації, приблизно за 3 тижні до сівби кукурудзи», — наголошують автори повідомлення.

Зауважується, що як правило, кукурудза має найбільшу потребу в калії у фазі цвітіння та в періоди до і після цвітіння. Підвищена потреба в цьому

елементі спостерігається приблизно через 5 тижнів після сівби (фаза 4-6 листків) і приблизно до 3-4 місяців після сівби споживання К постійно збільшується.

Важливо, що калій — це поживний елемент, який кукурудза засвоює найбільше. Він значно зміцнює рослину в періоди нестачі вологи, оскільки відповідає, серед іншого, за регулювання водного балансу. Найбільш ефективним є внесення його перед сівбою і змішування з ґрунтом, а також внесення гною на досить ранніх стадіях вегетації, наголошують польські експерти [30].

Отже, аналіз літературних джерел показав про важливість калію для росту і розвитку сільськогосподарських культур і удосконалення методів аналізу.

РОЗДІЛ 2. ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНІ УМОВИ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методика досліджень

Метою даного дослідження було порівняння впливу калію в ґрунті на визначення вмісту калію методом полуменевої фотометрії.

Проведення модельних експериментів:

Полуменево–фотометричний аналіз належить до емісійного спектрального методу аналізу. Отримані при згоранні розпиленого розчину в полум'ї пальника спектри називають спектрами випромінювання, або емісійними спектрами, звідки і назва методу. Інтенсивність випромінювання атомів пропорційна вмісту їх в розчині, який ввели в полум'я. За допомогою калібрувального графіка знаходять вміст елемента, який визначається із серії стандартних розчинів.

В полум'ї відбувається ряд процесів: випаровування розчинника з утворенням твердих частинок речовини, випаровування цих твердих частинок з утворенням атомної пари, дисоціація молекул на атоми, часткова іонізація, збудження атомів, повернення атомів у вихідний стан з випромінюванням квантів світла.

Інтенсивність випромінювання в емісійних методах вимірюють в полуменевих фотометрах, перетворюючи світловий потік на електричний струм (фотострум) за допомогою фотоелементів.

Основними вузлами всіх полуменевих фотометрів є: пальник, в який подається газова суміш, аналізований розчин у вигляді аерозолю, інтерференційний світлофільтр, що пропускає випромінювання тільки того елемента, який визначається, фотоелемент і гальванометр, компресор для подавання повітря, балон із стисненим газом, розсіювач.

Метод Кірсанова (ДСТУ 4405-2005 Якість ґрунту. Визначення рухомих сполук фосфору та калію за методом Кірсанова у модифікації ННЦ ІГА) [6].

Метод ґрунтується на вилученні рухомих сполук калію із ґрунту розчином соляної кислоти та подальшому визначенні калію на полум'яному фотометрі. Оптимальний для зони Полісся. Використовувався саме цей метод.

Метод Чирікова (ДСТУ 4115-2002 Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору та калію за модифікованим методом Чирікова)

Метод ґрунтується на вилученні рухомих сполук калію із ґрунту розчином оцтової кислоти концентрації з $(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,5$ моль/дм³ при відношенні ґрунту до розчину 1:25 та подальшому визначенні калію на полум'яному фотометрі. Оптимальний для зони Лісостепу.

Метод Мачигіна (ДСТУ 4114-2002 Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору та калію за модифікованим методом Мачигіна).

Метод ґрунтується на вилучення рухомих сполук калію із ґрунту розчином вуглекислого амонію концентрації 10 г/дм³ при відношенні ґрунту до розчину 1:20 та подальшому визначенню калію на полум'яному фотометрі. Оптимальний для лісостепової та степової зон, а також для карбонатних ґрунтів Українського Полісся.

Принцип роботи полуменевого фотометра. Аналізована речовина розпилюється пульверизатором: туман, який утворюється при цьому, вводиться в полум'я пальника (температура 1700 – 3000°C). Конус полум'я дає спектр, що складається з ліній з характерною для кожного елемента довжиною хвилі (інфрачервоної лінії калію, червоної – калію, жовтої – натрію і т.д.). Одну з ліній виділяють інтерференційним світлофільтром і спрямовують на фотоелемент, який здатний перетворювати світлову енергію випромінювання на електричну. Фотострум, який виникає при цьому, вимірюють мікроамперметром.

За допомогою полуменевого фотометру визначають калій, кальцій, магній, натрій та ін.

Тривалість одного вимірювання 25 – 30 сек.

Було приготовано маточний розчин КСl з концентрацією 25 г К на літр, вторинний розчин – 2500 мг К / л, і з нього приготовано розчини з концентрацією

25; 50; 75 та 100 мг /л по калію, які були використані для побудови калібрувального графіка на полуменовому фотометрі CL 378.

Заводський номер приладу – 01734/2013, свідоцтво про калібрування № 230712039 від 12.07.2023 року. Відносна розширена невизначеність при визначенні К сягає 4%.

Було приготовано 200 мл розчину CaCl_2 з концентрацією 6,95 г солі /л (1,39 г CaCl_2 на 200 мл); (після розчинення цієї солі в дистильованій воді розчин був непрозорий, тому він був профільтований через фільтр «синя стрічка»). Додавання 0,2 мл такого розчину в 50-мл мірну колбу створює там концентрацію по Ca 10 мг/л.

2.2 Загальні відомості про дослідне господарство

Зразки ґрунту із верхнього шару відібрані із лучно-чорноземного ґрунту і лучного, які знаходяться у Яготинському районі Київської області «Кернел».

Лучно-чорноземні ґрунти переважно на лесовидних породах залягають на перших надзаплавних терасах річок та в широких долинах з близьким заляганням підґрунтових вод, які у вологі роки досягають верхніх шарів ґрунтоутворюючої породи. За морфологічними ознаками лучно-чорноземні ґрунти дуже подібні до чорноземів, однак відрізняються від них оглеєністю нижніх горизонтів.

Деякі відміни цих ґрунтів мають ознаки засолення. Джерелом засолення є в основному близьке залягання мінералізованих підґрунтових вод, які мають у своєму складі соду і бікарбонати натрію. Ці солі, як відомо, є токсичними для розвитку рослин. Солонцюваті відміни лучно-чорноземних ґрунтів нагромаджують найбільшу кількість солей в осолонцюваному горизонті — на глибині 10—100 см. Наявність солей в ґрунті викликає входження натрію у вбирний комплекс, що в свою чергу зумовлює диспергацію та перерозподіл колоїдів по профілю і утворення осолонцюваного ілювіального горизонту. В лучно-чорноземних незасолених ґрунтах перерозподілу колоїдів по профілю не спостерігається.

Глибина гумусового горизонту в цих грунтах така ж, як і в чорноземах глибоких, проте завдяки додатковому зволоженню ґрунту підґрунтовими водами органічні речовини нагромаджуються більш інтенсивно і гумусовий шар має темніше забарвлення.

Водно-фізичні властивості лучно-чорноземних ґрунтів досить сприятливі для розвитку рослин. Ґрунти добре зволожуються, мають дрібногрудочкувату структуру. Хоч у нижній частині ґрунту міститься деяка кількість закисних сполук, проте вони майже не шкодять рослинам. Деякі гіршими властивостями характеризуються солонцюваті і солончакові відміни. Реакція ґрунтового розчину в грунтах цієї генетичної групи близька до нейтральної, або нейтральна, гідролітична кислотність майже відсутня, за винятком осолоділих і вилугуваних відмін, де вона часто досягає 3—4 мг-екв на 100 г ґрунту.

Лучні ґрунти переважно на делювіальних та алювіальних відкладах зустрічаються в кожному районі області в заплавах річок та днищах ярів і балок, а також на знижених терасових рівнях. Сформувалися в умовах постійного, іноді надмірного зволоження підґрунтовими водами, місцями дуже мінералізованими.

У посушливі роки капілярна кайма вологи в цих грунтах помітно знижується, внаслідок чого їх водно-повітряний режим наближається до чорноземного. Тут завжди панують висхідні токи вологи, тому на ділянках, де залягають сильно мінералізовані підґрунтові води, розвивається процес засолення ґрунту легкорозчинними солями.

Близьке стояння підґрунтових вод сприяє процесам оглеєння. Оглеєний горизонт залягає на глибині 60—100 см. У залізистих відмін ґрунтів він виражений досить сильно у вигляді нагромадження великих конкрецій закисних сполук заліза, марганцю (так звана руда).

У днища балок та на заплави інтенсивно виносяться продукти розмиву ґрунтів, тому тут можуть утворюватися шаруваті лучні ґрунти. На Поліссі лучні ґрунти найчастіше вилугувані, в Лісостепу — карбонатні.

Глибина гумусового горизонту в лучних ґрунтах коливається в межах 50—60 см. Він темно-сірого кольору з добре вираженою зернистою структурою. До негативних властивостей лучних ґрунтів слід віднести: пізнє настання стиглості ґрунту, періодичне надмірне зволоження, нестача повітря в ґрунті, токсичність неглибоко розташованого оглеєного шару, солонцюватість та солончаковість засолених відмін.

Лучні ґрунти мають великий вбирний комплекс, насичений основами. У вилугуваних і осолоділих відмін вбирний комплекс насичений, крім кальцію і магнію, воднем, внаслідок чого їх гідролітична кислотність досягає значних величин. Реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної, і лише в засолених відмінах — слаболужна.

Таблиця 2.1. Характеристика фізичних та водно-фізичні показників лучно-чорноземного ґрунту

Показники	Генетичний горизонт						
	Н	Нк	Нрк	Phkgl	P(h)kgl	Pkgl	Pkgl
Глибина відбору зразків	0 – 10	30 – 40	50 – 60	80 – 90	100 – 110	130 – 140	190–200
Фізичні та водно-фізичні показники							
Об'ємна вага, г/см ³	1,19	1,26	1,35	1,37	Не визн.	1,39	Не визн.
Питома вага, г/см ³	2,62	2,65	2,69	2,69		2,69	
Загальна пористість, %	54,60	52,50	49,80	49,10		48,30	
Максим. гігроскопічність, % від маси ґрунту	8,50	8,70	6,80	8,30		7,50	
ВВ, % від ваги ґрунту	11,50	11,80	11,70	11,60		10,00	
НВ, % від об'єму ґрунту	31,50	27,30	25,70	25,00		25,40	
ДАВ	23,80	19,60	18,90	18,30		12,90	
Гранулометричний склад, % на повністю суху наважку							
1 – 0,25	0,06	0,03	0,03	0,05	0,03	0,04	0,04
0,25 – 0,05	4,29	3,90	5,71	7,65	6,95	5,49	2,83

0,05 – 0,01	53,3 5	53,04	53,81	52,42	53,22	50,12	41,63
0,01 – 0,005	8,82	8,50	8,24	8,94	8,35	7,43	7,35
0,005 – 0,001	8,25	9,02	7,37	6,52	8,27	5,64	7,35
<0,001	25,2 3	25,51	24,84	24,41	23,18	22,57	22,35
Сума <0,01	42,3 0	43,03	40,45	39,87	38,80	35,64	37,05

РОЗДІЛ 3.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ СПОЛУК КАЛІЮ В ГРУНТАХ І РОЗЧИНАХ

3.1. Загальні положення з аналізу сполук калію

Контроль вмісту елементів мінерального живлення сільськогосподарських рослин, зокрема – калію (далі – «К»), є запорукою отримання високих врожаїв, і економних витрат дуже вартісних мінеральних добрив. Разом з тим, визначення К в ґрунтах являє собою досить непросту аналітичну задачу, що утруднюється «заважаючими впливами» (interfering influences) як при застосуванні іон-селективного, так і полуменево-фотометричного методів, що широко використовуються в лабораторній практиці.

Зокрема, в електронному навчальному посібнику Хімія ґрунтів. Основи теорії і практикум : навч. посібник / А. А. Кирильчук, О. С. Бонішко. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 354 с, розглядаються принаймні 2 явища, що можуть заважати визначенню елементів методом полуменевої фотометрії [45]:

- блокування - фізичний за своєю природою вплив, пов'язаний зі зниженням швидкості випаровування елемента, що визначається, у присутності великого надлишку матриці;

- утворення нелеткої сполуки елемента, що визначається, і компонента, що заважає.

Тому, нами було сплановано проведення ряду експериментів для дослідження можливого заважаючого впливу надлишку основного компонента «матриці» - калію (далі – «Са»).

Очевидно, що Са по відношенню до К, може бути значний надлишок у витяжці, особливо після вапнування відповідних с/г ділянок, або у випадку значного виснаження ґрунтів по К (скажімо, вирощування соняшника без відповідного внесення калійних добрив). І, при визначенні калію в зразках ґрунту, в витяжку переходить не тільки калій, а й переважна кількість калію, і інші сольові агенти.

Вочевидь, існують різні умови проведення вимірювання при побудові калібрувальної залежності, і при вимірюванні робочого зразка, що в аналітиці недопустимо.

Наприклад, в методах визначення калію по Масловій, Протасову, Чирікову і Кірсанову, екстракційні розчини - це, відповідно, розчини ацетату амонію, карбонату амонію, оцтової чи соляної кислот. Всі ці речовини легко звітрюються в полум'ї навіть при низьких температурах, не кажучи вже про 1900 – 2000 °С (температура полум'я газової суміші «пропан/бутан - повітря»); тобто, при проведенні вимірювання калібрувальної точки, крупинка твердої речовини після випаровування мікрокраплини навіть не утворюється, а атом калію вільно переходить в атомізований стан, і генерує кванти світла.

Коли ж розчином екстрагенту діють на зразок ґрунту, то в розчин, крім калію, переходить і кальцій з магнієм (як мінімум, а можливо і алюміній і залізо), і може бути, що цих металів переходить в рази більше, ніж калію. Коли мікрокраплина такої витяжки випаровується в полум'ї, то після цього залишається тверда частинка, яка при 2000 °С не випаровується.

У оксиду калію температура навіть не кипіння, а плавлення – 2613 °С. Тобто, після випаровування мікрокраплини ґрунтової витяжки, в полум'ї утворюється частка, крупинка, СаО чи, може, фосфату чи силікату калію, і ця крупинка слугує сорбційною матрицею для калію. І тому калій, в такому випадку, в полум'ї в атомарний стан переходить не на 100%, як в ідеальному випадку (при побудові калібрувального графіка), а менше.

І, ми мали підстави думати, що метод полуменевої фотометрії має завжди давати занижений результат по калію, - інше питання, на 1, чи на 30%

3.2 Порівняння результатів визначення доступних для рослин сполук калію різними розчинами

Після побудови калібрувального графіка калібрувальні точки були переміряні в якості «робочих», а також поміряні розчини з аналогічним вмістом калію, але з додаванням калію .

Результати представлені в таблиці 3.1 нижче

Таблиця 3.1. Вивчення впливу вмісту кальцію на полуменево-фотометричне визначення калію

Склад зразка:	Результат визначення К, мг/л:
25 мг/л К	25,9
50 мг/л К	50,7
	50,8
	50,4
75 мг/л К	75,7
100 мг/л К	100,8
50 мг/л К + 10 мг/л Са	49,4
	49,1
	48,9
50 мг/л К + 20 мг/л Са	49,8
	50,1
	49,6
50 мг/л К	49,7
	49,3
	48,6

Дані, викладені в таблиці 3.1, переконливо свідчать про те, що присутність кальцію на рівні 10-20 мг/л в розчині, що використовується для полуменево-фотометричного визначення калію, не заважають такому визначенню. Але нами було зроблене припущення що, можливо, концентрація кальцію в ґрунтовій витяжці становить не десятки, а сотні мг/л. Наприклад, в таблиці 4.2 на сторінці 54 публікації, вказано, що вміст S, мг-екв/100 г ґрунту, в «чорноземі типовому суглинковому на лесах», становить 74 (мг-екв/100 г ґрунту).

При цьому, «Ідеальний сумарний вміст калію і магнію у складі ГВК (ґрунтово-вбирний комплекс) має дорівнювати 80%. На ґрунтах з високим

вмістом глини він повинен становити $\text{Ca}+\text{Mg} = 70+10=80\%$, тоді як на легкому супіщаному ґрунті — $\text{Ca}+\text{Mg} = 60+20=80\%$ ».

Тому, природньо зробити припущення, що вміст Ca в «чорноземі типовому суглинковому на лесах» – 70 % S.

Була зроблена оцінка вмісту кальцію в ґрунтовій витяжці «чорнозему типового суглинкового на лесах» при визначенні K по методу Кірсанова:

1 мг-екв калію – це 20 мг Ca 70 мг-екв/100 г ґрунту * 70% * 20 мг / мг-екв = 980 мг обмінного Ca / 100 г ґрунту, або 9,8 мг обмінного Ca на 1 г ґрунту.

При визначенні калію і фосфору по методу Кірсанова, на 1 г ґрунту використовується 5 мл екстрагенту – 0,2 М HCl. В такому разі, при повному переході обмінного калію в витяжку, його вміст в розчині становитиме: 9,8 мг / 0,005 л = 1960 мг/л.

Тому, на практиці, концентрація калію в розчині, що використовується для визначення калію по методу полуменевої фотометрії, становить не 10-20, а може сягати значень до 2000 мг/л.

Тому, ми повторили дослід, приготувавши розчин із концентрацією K 100 мг/л, і створивши «кальцієвий фон» 200 та 500 мг/л.

Результати представлені в таблиці 3.2 нижче.

Таблиця 3.2. Вивчення впливу вмісту калію на визначення калію полуменево-фотометричним методом при підвищеному вмісті калію .

Склад зразка:	Результат визначення K, мг/л:	Середнє значення по K, мг/л	Ефект присутності калію
100 мг/л K	101,1	101,8	-
	102,2		
	102,0		
100 мг/л K + 200 мг/л Ca	96,7	97,4	-4,3%
	97,1		
	98,3		
100 мг/л K + 500 мг/л Ca	89,8	90,2	-11,4%
	90,7		
	90,1		

Отже, при концентрації калію в витяжці 500 мг/л, зниження результату по калію становить 11%. Очевидно, що при більш високому вмісті Са, зниження по К може сягати значень 20-30-40%.

Очевидно, що заважаючий вплив калію на ПФ-визначення калію починається десь із концентрації Са 100 мг/л. Природно припустити, що отриману витяжку можна було б розвести дистильованою водою в кілька раз, до концентрації калію 100 мг/л, і міряти К по методу калібрувального графіка, не побоюючись зниження результатів. Але, слід пам'ятати, при цьому в стільки ж раз знизиться і концентрація калію; якщо в результаті розбавлення вміст К знизиться до значень кількох мг/л – точність суттєво знизиться. Тому, розведення витяжки можливо не завжди.

-2.2. Проведення експериментів із зразками ґрунтів.

Для проведення досліджень було взято 2 зразки ґрунтів:

А. - Лучний, 0-25 см, 2024;

Б. – Лучно-чорноземний, 0-20 см

Зразки були висушені і просіяні, і з них були отримані витяжки по методу Кірсанова (10 г ґрунту + 50 мл 0,2 М НСІ).

Витяжки були профільтровані через фільтр «синя стрічка», і проаналізовані на полумєневому фотометрі. Попередньо на приладі було побудоване 2-елементне калібрування – по К і Са.

Калібрувальні точки, «К, мг/л / Са, мг/л», були приготовані на 0,2 М НСІ:

25 / 25;

50 / 50;

75 / 75;

100 / 100.

Після проведення калібрування, калібрувальні розчини були переміряні як робочі зразки, з метою оцінки точності отриманої калібрувальної залежності. Результати представлені в таблиці 3.3:

Таблиця 3.3 Калібрувальні розчини досліджуваних ґрунтів

№	Концентрація К і Са в розчині, мг/л	Отримані значення, К / Са, мг/л
1	0 / 0 («холостий зразок»)	0,0 / 0,0
2	25 / 25	23,8 / 26,1
3	50 / 50	52,9 / 51,0
4	75 / 75	75,0 / 75,2
5	100 / 100	99,7 / 99,7

Отримана калібрувальна залежність дозволяє проводити виміри К і Са в ґрунтових витяжках із задовільною точністю. Потім були проведені виміри вмісту К і Са в витяжках вищезгаданих ґрунтів А і Б, з різними розведеннями.

Результати приведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. Вміст К і Са у залежності від розведення ґрунтової витяжки

Зразок	Розведення, витяжка : вода	Отримані значення, К / Са, мг/л	Вміст К у витяжці, мг
А Лучний	-	8,0 / 302,7	0,40
	1:1	4,2 / 156,7	0,42
	1:2	2,9 / 98,6	0,435
Б Лучно-чорноземний	-	12,9 / 819	0,645
	1:1	7,4 / 541	0,74
	1:2	5,2 / 382	0,78
	1:3	4,0 / 260	0,80
	1:5	2,7 / 168	0,81

Аналізуючи дані, викладені в таблиці 3.4, слід зауважити наступне:

1. Діапазон лінійності калібрування як по К, так і по Са – 100 мг/л. Тому, значення вище 100 мг/л, особливо 500 чи 800 мг/л – недостовірні: там калібрувальна залежність «виходить на полицю». Тому, для отриманих високих значень концентрації калію 382, 541 чи 819 мг/л можна зробити не кількісний, а якісний висновок: «калію в розчині дуже багато, і його заважаючий вплив - значний».

2. При розведенні зразка лучного ґрунту в 3 рази, очевидно, знизився заважаючий вплив калію, в результаті чого отримане значення калію в витяжці зросло. Якщо його 100% вмістом вважати 0,435 мг, то 0,4 мг – це 92%. Тому, очевидно, що полуменево-фотометричне вимірювання К в присутності приблизно 300 мг/л Са, приводить до заниження результату приблизно на 8%.

3. Аналогічним чином, якщо 100% вмістом калію в екстракті зразка Б лучно-чорноземного ґрунту вважати 0,81 мг, то 0,645 мг – це 80%. В цьому разі, високий вміст Са в розчині, приводить до заниження результату вимірювання К приблизно на 20%.

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ ҐРУНТУ РУХОМИМИ ФОРМАМИ КАЛІЮ І КАЛЬЦІЮ , ВПЛИВ ДИФЕРЕНЦІЙНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДОБРИВ НА УРОЖАЙНІСТЬ КУКУРУДЗИ

4.1. Забезпеченість рухомим калієм в ґрунті

Недостатня кількість рухомого калію призводить до затримування обміну речовин, що в свою чергу може підсилювати дисиміляційні процеси, що може порушити водообмін, а це в може призвести до недобору по врожаю. У картограмі 4.1 і таблиці 4.1 показано забезпеченість ґрунту дослідного поля рухомим калієм.

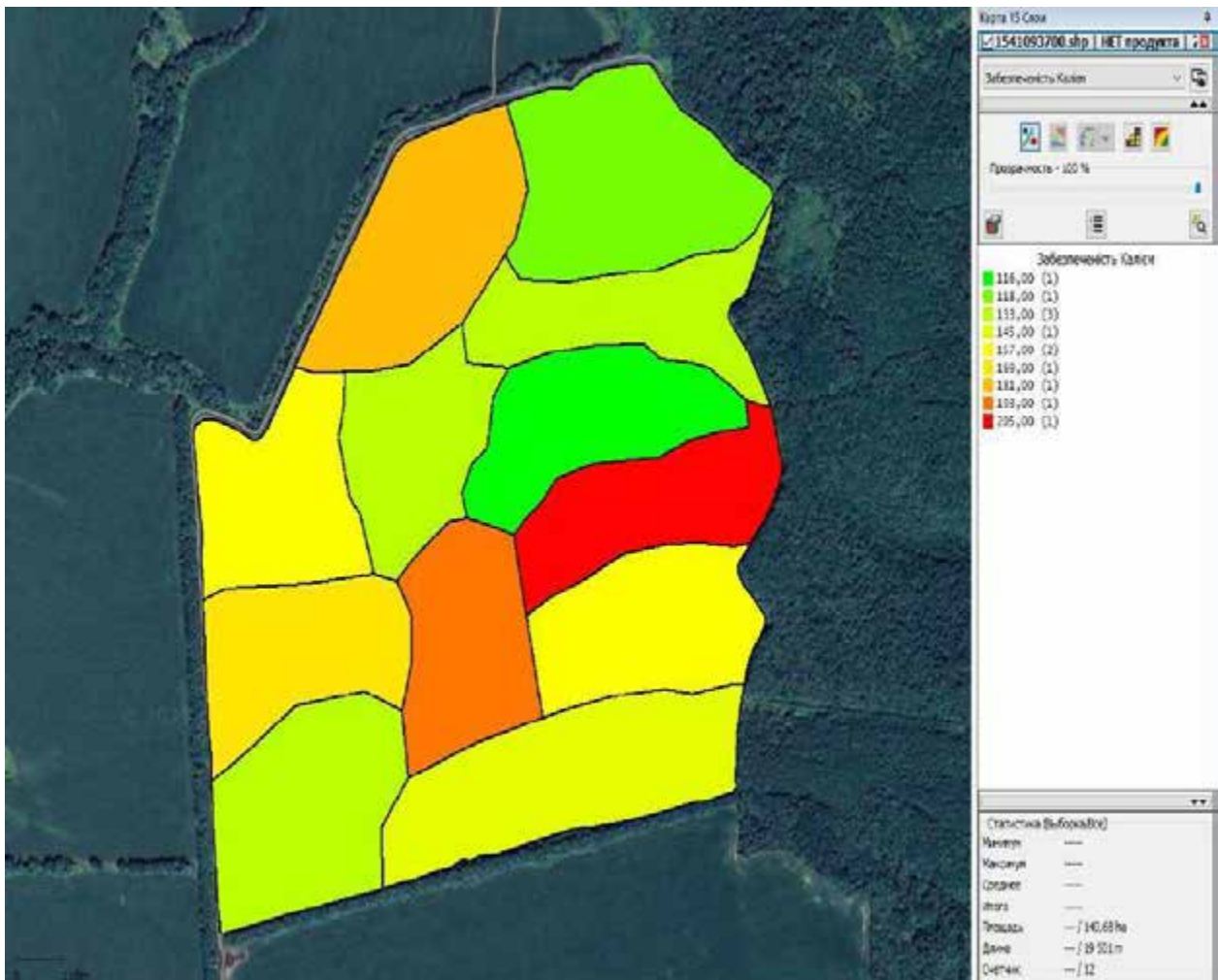


Рис.4.1. Картограма забезпеченості ґрунту дослідного поля рухомим калієм

Таблиця 4.1 Забезпеченість ґрунту дослідного поля рухомих калієм

Номер ділянки	K ₂ O, мг/100 г	K ₂ O, мг/кг	Забезпеченість калієм
1	18,1	181	Середня
2	11,8	118	Середня
3	13,3	133	Середня
4	11,6	116	Середня
5	13,3	133	Середня
6	14,5	145	Середня
7	16,9	169	Середня
8	15,7	157	Середня
9	13,3	133	Середня
10	19,3	193	Середня
11	20,5	205	Підвищена
12	15,7	157	Середня

Вміст рухомого калію була найвищою у одинадцятому варіанті – 20,5 мг/100 г, відносно нижчою була кількість у варіантах з середнім рівнем калію – 19,3-11,6, та найнижчою динаміка калію була у варіанті з середнім вмістом калію – 11,6 мг/100 г. Медіана в ґрунтах дослідного поля по калію становила 151 мг/кг, верхній кватиль 172 мг/кг, нижній кватиль 133 мг/кг.

4.2. Фізико-хімічні показники ґрунту

Важливо пам'ятати, що вирощування кукурудзи вимагає не тільки оптимальної реакції ґрунтового середовища, але й інших факторів, таких як вологість, добрива, насіння та догляд за рослинами. Комплексний підхід до вирощування кукурудзи допоможе досягти оптимального врожаю зерна. Фізико-хімічні показники ґрунту впливають на:

1. Доступність поживних речовин: Близька до нейтрального рН сприяє доступності поживних речовин для рослин. Кукурудза потребує певних макро-

та мікроелементів для нормального росту і розвитку, і в нейтральному або слабо кислому ґрунті ці елементи краще доступні для рослин.

2. Зниження токсичності алюмінію: В кислих ґрунтах може бути підвищений вміст токсичного алюмінію, що може заважати росту рослин. Близька до нейтрального рН допомагає зменшити цю токсичність.

3. Збалансований мікробний склад ґрунту: Ґрунт з близькою до нейтральної кислотності сприяє розвитку корисних мікроорганізмів, що можуть підтримувати здоровий ріст рослин і розкладати органічний матеріал, збільшуючи доступність поживних речовин.

4. Менше стресу для рослин: Кукурудза зазвичай краще росте в ґрунтах зі стабільною кислотністю, оскільки вона може страждати від стресів, пов'язаних з кислими або лужними ґрунтами.

У картограмі рис. 4.2 наведено реакцію ґрунтового середовища у дослідному полі.

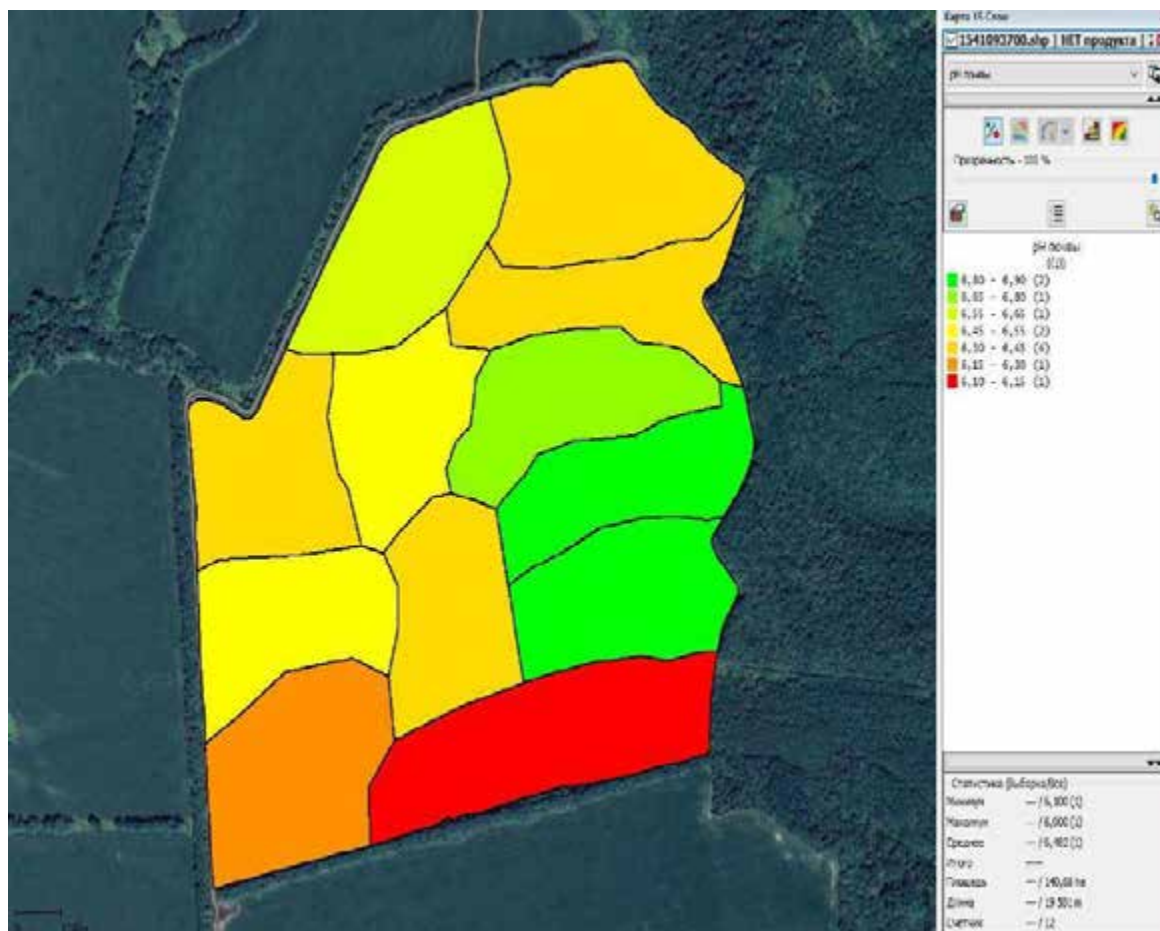


Рис.4.2 Картограмма реакции ґрунтового середовища дослідного поля

Виходячи з даних результатів дослідження наведених в таблиці 4.2 ми маємо інформацію, що реакція ґрунтового середовища характеризується як близька до нейтральної і має позитивний вплив на вирощування кукурудзи на зерно.

Таблиця 4.2 Гранулометричний склад ґрунту та деякі фізико-хімічні показники дослідного поля

Ділянка	Вміст фізичної глини % (USAID)	Гранулометричний склад	Гумус, %	Рівень забезпеченості гумусом	pH (H ₂ O)	Ступінь кислотності
1	18	Середньосуглинковий	3,0	Середній	6,6	Близький до нейтрального
2	18	Середньосуглинковий	2,9	Середній	6,4	Близький до нейтрального
3	18	Середньосуглинковий	3,3	Підвищений	6,4	Близький до нейтрального
4	18	Середньосуглинковий	3,2	Підвищений	6,7	Близький до нейтрального
5	18	Середньосуглинковий	2,8	Середній	6,2	Близький до нейтрального
6	18	Середньосуглинковий	3,2	Підвищений	6,1	Близький до нейтрального
7	18	Середньосуглинковий	3,0	Середній	6,5	Близький до нейтрального
8	18	Середньосуглинковий	3,0	Середній	6,4	Близький до нейтрального
9	18	Середньосуглинковий	3,0	Середній	6,5	Близький до нейтрального
10	18	Середньосуглинковий	3,2	Підвищений	6,4	Близький до нейтрального
11	18	Середньосуглинковий	3,5	Підвищений	6,9	Близький до нейтрального
12	17	Середньосуглинковий	3,3	Підвищений	6,9	Близький до нейтрального

Середньосуглинковий гранулометричний склад ґрунту- оптимальний для кукурудзи на зерно і має такі позитивні характеристики:

1. Водопроникність: Середньосуглинковий ґрунт має оптимальну текстуру, яка допомагає утримувати вологу в родючому шарі. Це може бути корисним для кукурудзи, оскільки рослина вимагає достатнього забезпечення вологою, особливо під час активного росту та цвітіння.

2. Дренаж: Середньосуглинковий ґрунт зазвичай добре дронується, що може запобігти застою води та кореневому гнилі, які можуть шкодити рослинам.

3. Легка обробка: Середньосуглинковий ґрунт зазвичай легше обробляти та має хорошу структуру для вирощування рослин. Це спрощує процес посіву та догляду за кукурудзою.

4. Запас поживних речовин: Якщо в ґрунті є достатній запас поживних речовин, то це може сприяти росту та розвитку кукурудзи, що впливає на врожайність зерна.

5. Боротьба з ерозією: Такий тип ґрунту може бути менше схильним до ерозії, оскільки має кращу структуру і утримує рослинні залишки.

4.3. Статистичний аналіз досліджуваних результатів і диференційна норма внесення добрив

Установити особливості впливу диференціації (адресного нормування) внесення мінеральних добрив на агрохімічні показники ґрунту та врожайність кукурудзи на зерно можливо за допомогою математико-статистичних методів оцінки достовірності результатів досліджень. В таблиці 4.3 наведено статистичний аналіз мінеральних сполук азоту, рухомого калію і фосфору в полі.

Таблиця 4.3. Статистичний аналіз мінеральних сполук азоту, рухомого калію і фосфору

Показник	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
об'єм вибірки	12	12	12
середнє	6,9	82,3	153,3
стандартне відхилення	1,7	42,1	29,0
помилка середнього	0,5	12,1	8,4
коефіцієнт варіації,%	24%	49%	18%
мінімальне значення	4,2	41,0	116,0
нижній кuartиль	5,9	54,5	133,0
медіана	6,8	62,0	151,0
верхній кuartиль	7,7	102,0	172,0
максимальне значення	10,1	170	205,0

Аналіз таблиці 4.3 показує, що дослідне поле має високий показник варіації 49 і 24 отримано для рухомого фосфору і мінерального азоту, для калію – середній -18%. Отже, рекомендовано на досліджуваному полі використання диференційного внесення фосфорних, калійних і азотних добрив.

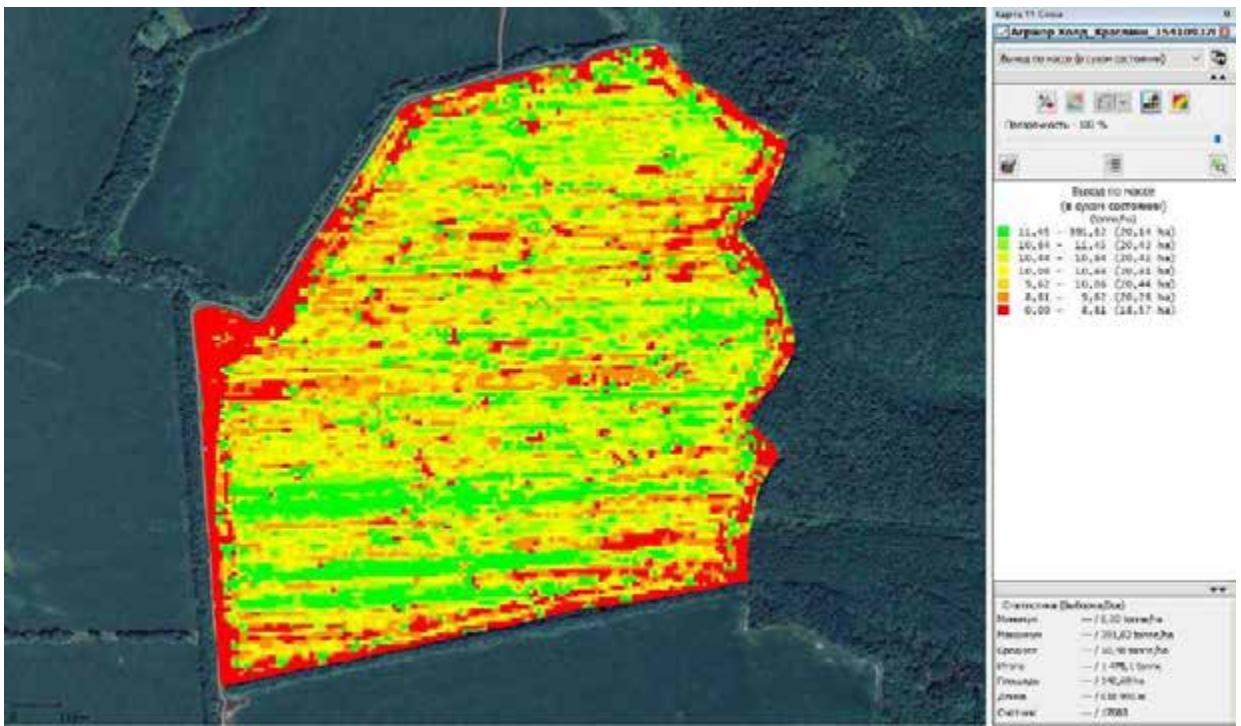
Нами були розраховані норми добрив і урожайність наведена в таблиці 4.4 за 2023 рік- одна норма добрив внесена і 2024- диференційна норма. Крім того було внесено на ділянках з меншим за 6,5 реакцією ґрунтового середовища гранульоване вапно польського виробництва. В господарстві була у 2023 році була стала норма внесення добрив по NPK на рівні (135:52:52), ми за допомогою диференційованого внесення добрив майже на кожній із дослідних ділянок змогли досягти зменшення витрати добрива із досяганням більш високої врожайності.

Таблиця 4.4.- Норми добрив у 2024 році та урожайність кукурудзи на зерно

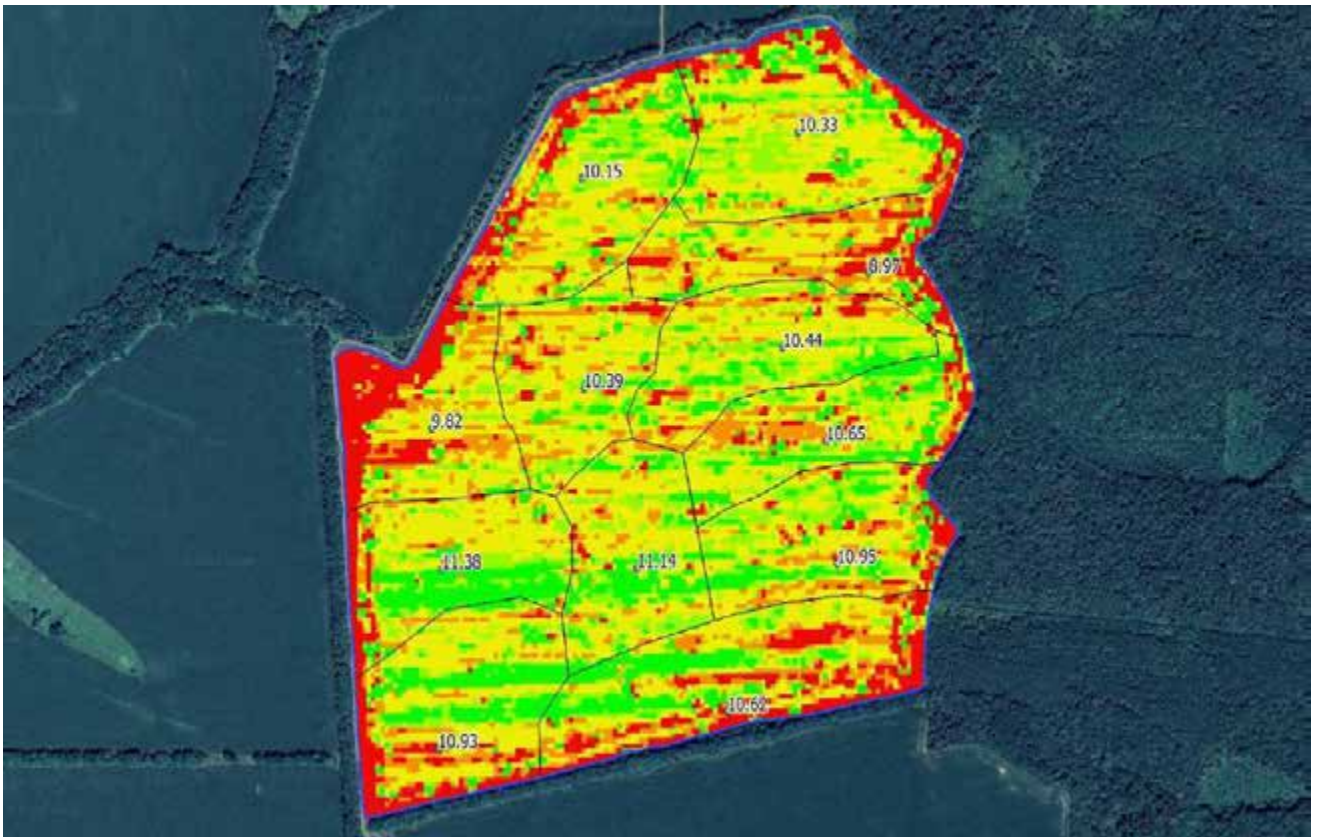
Поле	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Врожайність кукурудзи на зерно, т/га		Приріст врожаю т/га
					2024	2023	
1	112	37	38		10,33	7,23	3,1
2	115	37	47	35	10,15	6,87	3,28
3	103	39	45	38	9,82	6,53	3,29
4	117	41	47		8,97	5,93	3,04
5	127	42	45	46	10,39	6,72	3,67
6	110	31	43	51	10,44	6,94	3,53
7	120	50	40		11,38	7,81	3,77
8	121	19	41	37	11,14	7,57	3,82
9	117	43	45		10,65	7,14	3,51
10	109	45	36	38	10,93	7,44	3,49
11	94	24	35		10,95	7,46	3,49
12	98	32	41		10,62	7,11	3,51

Збільшення врожайності на дослідних ділянках у 2024 році коливаються від 3,04 т/га до 3,82 т/га, тобто диференційоване внесення добрив порівняно з однією нормою на поле у 2023 році і погодні умови дозволило отримати значний приріст врожаю з супутніми зменшеннями витрат на добрива на 30-200%.

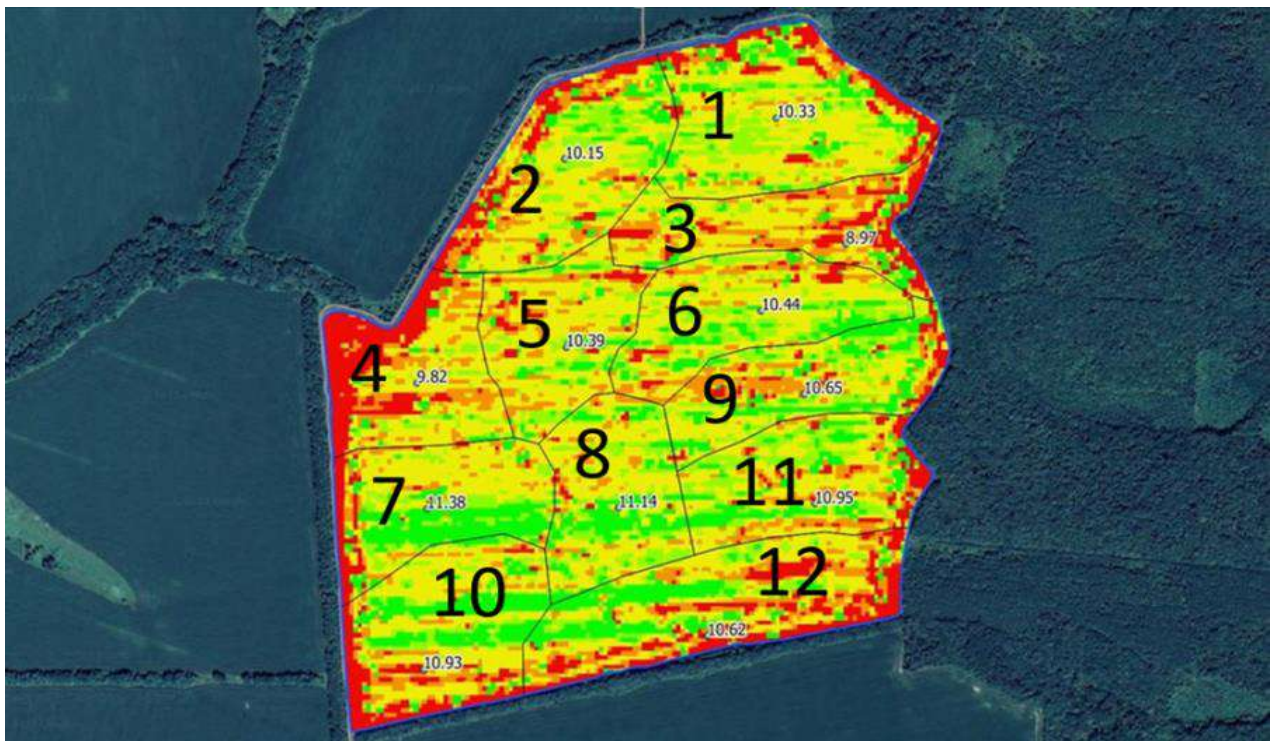
Зважаючи на високу ціну добрив, диференційоване внесення починає відігравати ще більш значну роль в мінеральному живленні рослин.



a



b



с

Рис 4.4. Картограми урожайності кукурудзи на зерно у 2024 році по ділянках

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ ЗА ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОГО ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ

Кукурудза є однією з найбільш високопродуктивних злакових культур універсального призначення, яку вирощують для продовольчого, кормового і технічного використання. Із загального валового світового виробництва зерна кукурудзи на продовольчі цілі використовуються близько 15-20%, на технічні 15-20% та 60-65% на корм худобі. З давніх часів людина використовує кукурудзу як продовольчу культуру. Підраховано, що з кукурудзи виготовляють понад 300 різних виробів, значна частина яких, у свою чергу, є сировиною для продукції. Важливо відмітити агротехнічне значення кукурудзи, як просапної культури, яка є хорошим попередником під ярі культури завдяки тому, що залишає ґрунт збагачений органічними рештками та чистим від бур'янів [1]. Щорічне світове виробництво зерна кукурудзи зростає випереджаючи виробництво зерна інших сільськогосподарських культур. Актуальним є пошук пріоритетних напрямків підвищення ефективності виробництва кукурудзи на зерно з урахуванням регіональних особливостей.

Для розрахунку економічної ефективності була взята ціна кукурудзи 8000 грн/т, діаміфоски 34000 грн/т, калій хлористий 13000 грн/т, аміачна селітра - 11000 грн/т, вапно гранульоване 10000 грн/га. Загальні витрати на 1 га (насіння, обробіток, збирання, накладні) були взяті на рівні 10000 грн/га.

2024 р.- диференційна внесення добрив;

2023 р. – однакова норма добрив NPK на рівні (140:52:52).

Таблиця 4.1. Економічна ефективність вирощування кукурудзи на зерно за диференційного внесення

Ділянка	Врожайність кукурудзи на зерно, т/га		Вартість валової продукції, грн/га		Затрати на вирощування, грн/га		Умовно чистий дохід, грн/га	
	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023
1	10,33	7,23	61980	43380	16050	23200	45930	20180
2	10,15	6,87	60900	41220	16980	23200	43920	18020
3	9,82	6,53	58920	39180	17168	23200	41752	15980
4	8,97	5,93	53820	35580	16848	23200	36972	12380
5	10,39	6,72	62340	40320	18024	23200	44316	17120
6	10,44	6,94	62640	41640	16424	23200	46216	18440
7	11,38	7,81	68280	46860	18108	23200	50172	23660
8	11,14	7,57	66840	45420	14644	23200	52196	22220
9	10,65	7,14	63900	42840	17120	23200	46780	19640
10	10,93	7,44	65580	44640	18056	23200	47524	21440
11	10,95	7,46	65700	44760	14260	23200	51440	21560
12	10,62	7,11	63720	42660	15396	23200	48324	19460

Найвищий умовно чистий дохід був отриманий на 8 ділянці за підвищеної забезпеченості рухомим калієм, середньої азотом і становила 52196 грн/га, найменша 36972 на 4 ділянці. Умовно чистий дохід в 2024 році за диференційного удобрення був в 2,5 рази більший ніж за однакової норми добрив. Застосування калію на 2,3, 5,6, 8 і 10 ділянках підвищувала урожайність кукурудзи на зерно, але за рахунок витрати на добрива не сприяло значному збільшенню чистого доходу.

ВИСНОВКИ

1. Діапазон лінійності калібрування як по К, так і по Са – 100 мг/л. Тому, значення вище 100 мг/л, особливо 500 чи 800 мг/л – недостовірні: там калібрувальна залежність «виходить на полицю». Тому, для отриманих високих значень концентрації калію 382, 541 чи 819 мг/л можна зробити не кількісний, а якісний висновок: «калію в розчині дуже багато, і його заважаючий вплив - значний».

2. Розведення зразка лучного ґрунту в 3 рази, знизився вплив калію, в результаті чого отримане значення калію в витяжці зросло. Якщо його 100% вмістом вважати 0,435 мг, то 0,4 мг – це 92%. Полуменево-фотометричне вимірювання К в присутності приблизно 300 мг/л Са, приводить до заниження результату приблизно на 8%.

3. Високий вміст Са в розчині, приводить до заниження результату вимірювання К приблизно на 20%.

4. Медіана рухомого калію в ґрунтах дослідного поля по калію становила 151 мг/кг, верхній квантиль 172 мг/кг, нижній квантиль 133 мг/кг.

5. Ґрунт дослідного поля характеризувався близькою до нейтральної реакцією ґрунтового і має позитивний вплив на вирощування кукурудзи на зерно.

3. Збільшення врожайності на дослідних ділянках у 2024 році коливаються від 3,04 т/га до 3,82 т/га, тобто диференційоване внесення добрив порівняно з однією на поле у 2023 році і погодні умови дозволило отримати значний приріст врожаю з супутніми зменшеннями витрат на добрива на 30-200%.

7. Найвища урожайність кукурудзи на зерно становила 11,38 т/га на 14% вологості була отримана на ділянці №8, яка характеризувалась найбільшим вмістом в ґрунті рухомого фосфору, калію і мінерального азоту порівняно з іншими ділянками.

8. Найвищий умовно чистий дохід був отриманий на 8 ділянці за підвищеної забезпеченості рухомим калієм, середньої азотом і становила 52196 грн/га, найменша 36972 на 4 ділянці. Умовно чистий дохід в 2024 році за диференційного удобрення був в 2,5 рази більший ніж за однакової норми добрив. Застосування калію на 2,3, 5,6, 8 і 10 ділянках підвищувала урожайність кукурудзи на зерно, але за рахунок витрати на добрива не сприяло значному збільшенню чистого доходу.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Службам «Інституту охорони ґрунтів» («Держродючості») при проведенні визначення калію рекомендується застосовувати метод ПФ аналізу зразків ґрунту, результати якого валідні й не залежать від типу ґрунту.

2. Диференційне застосування добрив (азотних, фосфорних, калійних і кальцієвих) призводить до збільшення врожайності кукурудзи на зерно від 3,04 т/га до 3,82 т/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Барвінський А. В. Роль вапнування в захисті кислих ґрунтів правобережного Полісся та Лісостепу від фізичної деградації. Агрохімія та ґрунтознавство. Ґрунтознавство та агрохімія на шляху до сталого розвитку України. Спецвипуск. Харків, 2002. (кн. 2). С. 223-225.
2. Визначення обмінного калію полум'яно-фотометричним методом <https://apk.hlr.ua/ru/obektyi-isledovaniya/pochva/pokazateli-kachestva/kalij/plamennyij-fotometr/>
3. Географічна характеристика Київської області <http://universum.kiev.ua/2009-09-18-12-57-46/2013-01-31-11-57-35/127-2013-12-19-14-27-21.html>
4. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Нікітіна О. В. Агрохімія калію / За заг. ред. Г. М. Господаренка. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2021. 264 с.
5. Диференційоване внесення добрив при вирощуванні зернових та олійних <https://propozitsiya.com/ua/differencirovannoe-vnesenie-udobreniy-pri-vyrashchivanii-zernovyh-i-maslichnyh>
6. ДСТУ 4405:2005 Якість ґрунту. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за методом Кірсанова в модифікації ННЦ ІГА https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60252
7. Екологічний паспорт Київської області <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/Ekologichnyj-pasport-Kyyivska-oblast.pdf>
8. Економічна оцінка вирощування кукурудзи на зерно за різних способів обробітку ґрунту <http://izpr.ks.ua/archive/2016/65/13.pdf>
9. Значення калію для рослин та його вміст у ґрунті <https://agrotest.com/article/znachennya-kaliyu-dlya-roslyn-i-jogo-vmist-u-grunti/>
10. Інститут живлення «Калій» <https://pni.com.ua/optimizatsiya-zhivlennya/%D0%BC%D1%96%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%>

D1%8C%D0%BD%D0%B5-

%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F/
D0%BA%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B9/

11.Калій – елемент якості або особливості калійного живлення рослин
<https://www.agronom.com.ua/kalij-element-yakosti-abo-osoblyvosti-kalijnogo-zhyvlennya-roslyn/>

12.Калійне живлення рослин кукурудзи за різних систем застосування добрив
<https://edorada.org/en/articles/456>

13.Калійні Добрива: Як і Коли Правильно Вносити
<https://eos.com/uk/blog/kaliini-dobryva/>

14.Кальцій для рослин – роль, цінність та наслідки дефіциту [Електронний ресурс] // Система оптимуму. – 2022. – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.systopt.com.ua/article-kalcij-dlya-roslyn-rol-cinnist-ta-naslidky-deficytu>.

15. Локально-стрічкове диференційоване внесення добрив
<https://superagronom.com/articles/27-lokalno-strichkove-diferentsiyovane-vnesennya-dobriv>

16.Мартинюк О. Диференційоване використання мінеральних добрив за вирощування кукурудзи на зерно
https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u371/martinyuk_o_apa.pdf

17.Мікроелементи: друзі і вороги. Як взаємодіють елементи в рослині та що потрібно врахувати агроному? <https://superagronom.com/articles/135-mikroelementi-druzi-i-vorogi-yak-vzayemodiyut-elementi-v-roslini-ta-scho-potribno-vrahuvati-agronomu>

18.Нікітіна О. В. Калійний фонд ґрунту за тривалого удобрення. Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. «Актуальні питання землеробства». Умань, 2018. С. 9–11.

19.Нікітіна О. В. Уміст і запаси рухомих сполук калію у ґрунті після тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. Інноваційні технології вирощування,

зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва: Матеріали V міжнар. наук.-практ. конф. (23–24 травня 2019 р., м. Умань). Умань, 2019. С. 60–62.

20.Нікітіна О. В., Кривда Ю. І. Вміст калію в основній і нетоварній частинах урожаю культур польової сівоzmіни залежно від норм добрив і систем удобрення. Агрохімія і ґрунтознавство. 2015. Вип. 83. С. 104–107.

21.Нікітіна О. В., Кривда Ю. І. Зміна вмісту рухомих сполук калію у ґрунті за тривалого удобрення. Матеріали Всеукр. наук. конф. молодих учених (до 60-річчя утворення Черкаської області): тези. Умань, 2013. Ч. 1: Сільськогосподарські, біологічні та технічні науки. С. 90–91.

22.Природно-сільськогосподарське районування України
https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u18/monograph_natural_agricultural_zoning.pdf

23.Радіоекологія / І. М. Гудков, В. А. Гайченко, В. О. Кашпаров та ін. Київ, 2011. 368 с.

24.Роль добрив у підвищенні ефективності землеробства в посушливих умовах / Б. С. Носко, В. В. Медведєв, О. П. Непочатков та ін. Вісник аграрної науки. 2000. № 5. С. 11–15.

25.Сполуки калію як індикатор якості ґрунту
https://www.researchgate.net/publication/329625847_Rozdil_5_SPOLUKI_KALIU_AK_INDİKATOR_AKOSTI_GRUNTU

26.Трофименко П. І. Картографо-аналітична оцінка агроекологічного стану ґрунтового покриву (на прикладі Чернігівщини): автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. : 06.01.03. Харків, 2004. 24 с.

27.Трус О. М., Господаренко Г. М., Прокопчук І. В. Гумус чорнозему опідзоленого та його відтворення. Умань : ВПЦ «Візаві», 2016. 228 с.

28.Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л. Оціночні показники кислотно-основної буферності ґрунтів. Агрохімія і ґрунтознавство. 2003. Вип. 64. С. 12–16.

29.Трускавецький Р. С., Цапко Ю. Л., Соколова Н. Ю. Роль буферних механізмів ґрунту в саморегуляції його родючості. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2007. Вип. 3 (39). Ч. 1. С. 398–406.

30. Удобрення кукурудзи від А до Я <https://www.agronom.com.ua/udobrennya-kukurudzy-vid-a-do-ya/>

31.Фактори впливу на доступність калію <https://agrotest.com/article/faktori-vplivu-na-dostupn-st-kal-yu/>

32.Хаблак С. Кальцій і магній - стражи родючості ґрунту [Електронний ресурс] / С. Хаблак // Агробізнес. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://agrobusiness.com.ua/kaltsii-i-mahnii-strazhy-rodichosti-gruntu.>

33.Характеристика природно-кліматичних умов об'єкту досліджень <https://studfile.net/preview/3540601/page:2/>

34.Чому такий важливий кальцій для підживлення рослин плодових, ягідних та овочевих культур? <https://makosh-group.com.ua/blog/vazhlyvist-kaltsiyu/>

35.Якість ґрунту. Визначання активності іонів калію, амонію, нітрату і хлору потенціометричним методом: ДСТУ 4725:2007. (Чинний від 2008–01–01). Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 22 с. (Національний стандарт України).

36.Якість ґрунту. Відбирання проб : ДСТУ 4287:2004. (Чинний від 2005–07–01). Київ : Держспоживстандарт України, 2005. III, 6 с. (Національний стандарт України).

37.Якість ґрунту. Метод визначення калій-буферності ґрунту: ДСТУ 4375:2005. (Чинний від 2005–02–28). Київ : Держстандарт України, 2006. 9 с. (Національний стандарт України).

38.Якість ґрунту. Методи визначення валового фосфору і валового калію в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського: ДСТУ 4290:2004 (Чинний від 2005–07–01). Київ : Держстандарт України, 2005. 21 с. (Національний стандарт України).

39. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів: ДСТУ 4362:2004. (Чинний від 2006–01–01). Київ : Держсандарт України, 2006. 23 с. (Національний стандарт України).

40. Якість ґрунту. Попереднє оброблення зразків для фізико-хімічного аналізу (ISO 11464:2006, IDT) : ДСТУ ISO 11464:2007. (Чинний від 2009–10–01). Київ : Держспоживстандарт України, 2012. IV, 14 с. (Національний стандарт України).

41. Якість сільськогосподарської продукції / А. С. Заришняк, В. Є. Дишлюк, С. А. Балюк та ін. Посібник хлібороба України. 2017. Т. 1. С. 81–90.

42. Ярошко М. Кислотність ґрунтів та її вплив на живлення рослин. Агронаом. 2013. № 3. С. 30-33. URL : <https://agronom.com.ua/kyslotnist-gruntiv-ta-yiyi-vplyv-na-zhyv/> (дата звернення 10.11.2019).

43. Ylva Andrist-Rangel, Stephen Hillier, Ingrid Öborn, Allan Lilly, Willie Towers, Anthony C. Edwards, Edward Paterson, Assessing potassium reserves in northern temperate grassland soils: A perspective based on quantitative mineralogical analysis and aqua-regia extractable potassium Geoderma, Volume 158, Issues 3–4, 2010, Pages 303-314, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.05.010>.

44. Najafi-Ghiri, M., Abtahi, A., Owliaie, H., Hashemi, S. S., & Koohkan, H. (2011). Factors affecting potassium pools distribution in calcareous soils of southern Iran. Arid land research and management, 25(4), 313-327.

45. Хімія ґрунтів. Основи теорії і практикум : навч. посібник / А. А. Кирильчук, О. С. Бонішко. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 354 с