

УДК 631.4:631.37

Варіабельність характеристик поживного режиму в зрошуваному ґрунті за різних систем удобрення

Л. І. Воротинцева*, Р. В. Панарін

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 02.12.2023 Отримано після доопрацювання 15.12.2023 Затверджено до видання 19.12.2023 Доступно онлайн 28.12.2023	У статті висвітлено результати дослідження впливу зрошення та різних систем удобрення на поживний режим чорнозему типового важкосуглинкового (Chernic Phaeozem) як індикатор його якості. Дослідження проводили у тривалому стаціонарному польовому досліді Інституту овочівництва та баштанництва НААН (Харківська область) за краплинного зрошення придатною водою. З аналізу метеорологічних умов виявлено, що упродовж вегетаційного періоду у роки дослідження кількість опадів була нижчою за середнє багаторічне значення, а температура повітря, навпаки, вищою. Дослідили стан рослинного покриву та ґрунту на 8 варіантах з різними системами удобрення під двома культурами овочево-кормової сівозміни. Контролювали вміст у ґрунті поживних речовин, гумусу та pH в кінці вегетації культур. З використанням спектральних індексів NDVI та NDMI за показниками біомаси та густоти стояння рослин, як індикаторів забезпеченості ґрунту поживними речовинами та вологою, проаналізовано динаміку розвитку рослин. У 2022 році за вирощування буряку столового найвищі значення NDVI (0,72–0,75) та відповідно найкращий стан та густоту рослинності було зафіксовано у серпні за насиченого зеленого кольору вегетуючих рослин. Максимальні значення індексу вологості (NDMI) (0,47) — у липні, що характеризує густоту рослин як високу та відсутність водного стресу. За вирощування ячменю з підсівом багаторічних трав у 2023 році найбільшу густоту рослин та формування зеленої фітомаси було зафіксовано у червні та наприкінці серпня. Значення NDMI у цьому році були нижчими, ніж у попередньому, що свідчить про нижчу вологість ґрунту через відсутність зрошення та посушливі умови року. Встановлено, що за тривалого зрошення гідрокарбонатною водою відбулося підвищення значень pH_{H_2O} ґрунту порівняно з вихідними даними до початку зрошення, однак реакція ґрунтового середовища в шарах 0–30 та 30–50 см класифікувалася як нейтральна. На варіантах з різними системами удобрення вміст органічного вуглецю в ґрунті був достовірно вищим, ніж на контролі, і коливався від 2,25 до 2,44 % (шар 0–30 см). За різних систем удобрення вміст рухомих сполук поживних речовин характеризувався варіабельністю та вищими значеннями порівняно з контролем. Наприкінці вегетаційного періоду ступінь насиченості мінеральним азотом ґрунту варіантів з органічною, органо-мінеральною та біологічною системами удобрення класифікувався як низький, за винятком варіанту з інтенсивною системою удобрення (високий). Вміст рухомих сполук фосфору відповідав дуже високому рівню, і найвищому — за поєднаного внесення органічних і мінеральних добрив у сівозміні; вміст калію оцінювався переважно як високий та дуже високий. Найвищий рівень врожайності забезпечувала органо-мінеральна система удобрення.

* E-mail: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

Форма цитування: Воротинцева Л. І., Панарін Р. В. Варіабельність характеристик поживного режиму в зрошуваному ґрунті за різних систем удобрення. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2023. Вип. 95. Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського». С. 24-35. <https://doi.org/10.31073/acss95-03>

1. Вступ

У формуванні кліматично орієнтованого аграрного сектора економіки значна роль належить зрошенню, застосування якого забезпечує регулювання вологозабезпеченості ґрунту, підвищення доступності та засвоюваності рослинами поживних речовин, сталі врожаї та стабільність продовольчої безпеки нашої країни. У багатьох країнах світу актуальним є збільшення площ зрошення, оптимізація використання обмежених водних ресурсів шляхом зниження витрат води на зрошувану площу, використання для іригації стічних вод тощо [0, 2]. У зв'язку з цим упродовж останніх 20 років особливо поширеними є дослідження із застосування краплинного зрошення як ресурсозберігавального способу поливу сільськогосподарських культур, впливу його на властивості ґрунту та продуктивність культур [3, 4].

Зрошення позитивно впливає на врожайність культур, але є фактором трансформації теплового, хімічного та водного режимів ґрунту, змінюючи його фізичні, фізико-хімічні, біологічні та агрономічні характеристики. Діагностика властивостей зрошуваних ґрунтів є основою для комплексного оцінювання їх стану, розроблення

управлінських рішень, спрямованих на збалансоване їх використання, збереження родючості, якості та здоров'я ґрунтів [5]. При цьому вкрай важливим є стале управління ґрунтовими ресурсами та збалансоване їх використання.

Ґрунту має приділятися значна увага, оскільки його характеристики неабияк важливі у боротьбі зі зміною клімату, для захисту біорізноманіття, екосистем та підтримки продовольчої безпеки. Здорові ґрунти є ключовим фактором, що сприятиме досягненню цілей Європейського зеленого курсу (European Green Deal), таких як кліматична нейтральність, нульове забруднення, стійка аграрна політика (Стратегія «Від лану до столу») [6].

Нова ґрунтова стратегія Європейського Союзу до 2030 року (new EU Soil strategy for 2030) інтегрована в Європейський зелений курс та встановлює заходи із захисту та відновлення ґрунтів, а також забезпечення їх сталого використання. Вона спрямована на те, щоб ґрунтові екосистеми були здорові та більш стійкі і могли в подальшому виконувати свої важливі функції. Захист ґрунтів, стале управління ними, відновлення деградованих ґрунтів має бути загальним стандартом [7]. Ґрунтова стратегія ЄС до 2030 року встановлює шлях до досягнення здорових ґрунтів до 2050 року за допомогою заходів і рамок, які сприяють досягненню цілей Європейського зеленого курсу.

Ґрунт є середовищем існування та розвитку для рослин і тварин, визначає продуктивність вирощуваних культур та якість аграрної продукції і через ланцюги живлення впливає на здоров'я людини. Тому актуальним є вивчення поживного режиму ґрунту, забезпеченості його основними макро- та мікроелементами з метою отримання повноцінних продуктів харчування та управління якістю ґрунту.

В цілому у світі дисбаланс поживних речовин визначено як одну з десяти основних загроз ґрунту, що впливають на його здоров'я. Здорові та добре забезпечені поживними речовинами ґрунти є ключовими для досягнення продовольчої безпеки. Збалансоване надходження поживних речовин до ґрунту має важливе значення для отримання сталого врожаю сільськогосподарських культур та визначає харчову цінність отриманої продукції [8, 9]. Для планування заходів з підвищення родючості ґрунтів, розроблення оптимальної системи удобрення, усунення дефіциту поживних речовин слід мати актуальну інформацію про баланс поживних елементів.

Ґрунт є джерелом поживних речовин для рослин, однак за несприятливих умов сільськогосподарські культури піддаються численним абіотичним стресам, таким як екстремальна температура, посуха, нестача води, поживних речовин і мікроелементів, що суттєво підвищує негативні наслідки дефіциту живлення [10]. Недостатнє застосування добрив призводить до виснаження ґрунту, що негативно впливає на його якість та продуктивність вирощуваних культур. Доступність поживних речовин у ґрунті залежить від низки чинників, таких як джерело поживних речовин, рівень зволоження та властивості ґрунту.

В умовах посухи мікроелементи відіграють значну роль у забезпеченні продовольчої безпеки та якості харчування. Збагачення ґрунту і вирощуваних культур мікроелементами є економічно сталим підходом до покращення поживної якості отримуваної продукції [11]. Дослідженнями [12] встановлено, що дефіцит мікроелементів є обмежувальним чинником продуктивності вирощуваних культур та впливає на родючість ґрунту. При цьому найбільш поширеним є одночасний дефіцит декількох елементів в орних ґрунтах (цинку, бору, міді, заліза, молібдену). Це пов'язано із внесенням добрив, які містять недостатню кількість мікроелементів, та біологічним виносом їх із ґрунту корінням рослин. Важливе значення має співвідношення поживних речовин у ґрунті: як між макроелементами, так і між мікроелементами. Часто у ґрунтах спостерігається дисбаланс у співвідношенні поживних речовин.

Особливо актуальними є дослідження поживного режиму ґрунту в умовах зрошення, оскільки зволоження впливає на рухомість та розподіл елементів живлення, підвищуючи їх міграційну здатність та просторову неоднорідність розподілу [13]. Так, дослідженнями встановлено, що за краплинного зрошення розподіл вмісту $N-NO_3$ та $N-NH_4$ практично повторював закономірність розподілу вологи в ґрунті. Максимальною кількістю поживних речовин була в зоні водовипуску, а потім відмічалася тенденція до зниження їх концентрації зі зростанням латеральної віддаленості, оскільки рухомість поживних речовин зумовлюється рухом вологи [14].

Спосіб зрошення зумовлює ступінь однорідності розподілу вологи у ґрунті, фізико-хімічні властивості ґрунту, перетворення азотних добрив та динаміку випаровування аміаку [15–17]. Встановлено, що в цілому внесення добрив за краплинного зрошення призводить до мінімуму вилуговування азоту та втрати аміаку [15].

Дослідженнями R. Zhang et al. [18] встановлено, що зрошення та внесення азоту, а також їх взаємодія достовірно вплинули на загальний вміст у ґрунті азоту, доступного

фосфору, калію та нітратного азоту. Збільшення частки органічних добрив, порівняно з мінеральними, призводило до поступового зниження накопичення летючого аміаку і підвищення врожайності та якості томатів [19].

Виявлено [20], що у деяких ґрунтах, які мали низький вміст фосфору, особливо наприкінці посушливого періоду, за зрошення його концентрація збільшувалася. Saad A. et al. [21] дослідили, що дефіцитне зрошення (50 % від зрошувальної норми) призвело до зниження врожайності вирощуваних культур та вплинуло на вміст поживних речовин у продукції. Було проведено експеримент зі зрошенням 100 % поливної норми, 75 і 50 %. Ефективність зрошувальних заходів та якість продукції знижувалась разом зі зниженням поливної норми. Регулювання вмісту азоту, фосфору та калію в рослинах має велике значення для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур [22]. Застосування зрошення та добрив мало позитивний вплив на накопичення N, P і K в сільськогосподарських культурах [23].

Інтенсивне землеробство, застосування високоврожайних сортів і макроелементних добрив є чинниками підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. Але збільшення потреби культур у поживних речовинах призводить до зростання виносу як макро-, так і мікроелементів [10]. Для отримання сталих врожаїв сільськогосподарських культур забезпеченість ґрунту поживними речовинами має бути збалансованою.

Провідне значення для забезпечення оптимального режиму живлення рослин має сівозміна та система удобрення в сівозміні [24, 25]. Дослідженнями встановлено [26], що за орґано-мінеральної системи удобрення у ґрунті накопичується велика кількість поживних речовин в обмінних та водорозчинних формах, краще зберігається ґрунтова волога, що створює умови стабільного режиму мінерального живлення рослин. За даної системи удобрення буряку у польовій сівозміні у чорноземі опідзоленому накопичувалося більше мінеральних сполук азоту й рухомих сполук фосфору [27].

Для визначення стану рослинності, який є індикатором забезпеченості рослин поживними речовинами і вологою, застосовують також дистанційні методи моніторингу з використанням спектральних індексів, наприклад, NDVI, NDMI та ін., які є числовими показниками якості рослин на ділянці поля.

Отже, важливим напрямом є моніторингові дослідження просторового розподілу показників поживного режиму за зрошення та різних систем удобрення овочевих культур з метою оптимізації стану ґрунту та збереження його родючості.

Метою статті є висвітлення результатів дослідження впливу зрошення та різних систем удобрення на характеристики поживного режиму чорнозему типового як індикатор його якості.

2. Об'єкти та методи досліджень

Дослідження проводили у тривалому стаціонарному польовому досліді у межах виробничого поля Інституту овочівництва і баштанництва НААН у Харківському районі Харківської області. Географічні координати – 49°45'58.00" пн.ш., 36°01'31.30" сх.д.

Стаціонар було закладено у 1967 році в 4-пільній овочевій сівозміні (огірок, томат, капуста, картопля), а після четвертої ротації його було реконструйовано і до сівозміни додано багаторічні трави, ячмінь і пшеницю. Зараз дослід включає 9 культур овочево-кормової сівозміни з таким чергуванням: ячмінь з підсівом люцерни – люцерна першого та другого років використання – огірок – озима пшениця – цибуля ріпчаста – томат – капуста білоголова – буряк столовий.

Ґрунт дослідної ділянки — чорнозем типовий важкосуглинковий (Chernic Phaeozem) з умістом фізичної глини (< 0,01 мм) у шарі 0–30 см від 50 до 57 %.

Ділянка зрошується прісною водою із річки Мжа. Впродовж останніх років для овочевих культур застосовують краплинний спосіб зрошення. У 2022 році дослідження проводили за вирощування буряку столового сорту «Бордо Харківський», у 2023 — ячменю з підсівом багаторічних трав (люцерни). За даними Інституту овочівництва і баштанництва НААН, у 2022 році було проведено два поливи буряку столового краплинним способом, зрошувальна норма становила 180 м³/га. Схемою досліду передбачено полив лише овочевих культур, ячмінь вирощували в богарних умовах. Технологія вирощування культур у досліді загальноприйнята для зони Лісостепу України.

Загальна площа дослідної ділянки — 58,3 м² (8,33×7,0 м), облікова — 36,4 м² (5,6×6,5 м); повторність — 4-разова; розміщення ділянок — систематичне у два яруси.

Схема досліду загалом включала 12 варіантів, але ми проводили дослідження на 8 ключових варіантах з різними системами удобрення (Табл. 1).

Таблиця 1

Схема дослідів (2022 і 2023 рр.)

Вариант	Система удобрення	Мінеральні добрива	Гній ¹ (післядія)	Мікробні препарати; мікродобрива	Спосіб; доза; строк внесення
Буряк столовий (2022 р.)					
1	Без добрив	—	—	—	—
2	Сидеральна	—	—	Азотофіт	обробка насіння; 1 л/т
				Фосфогумін	в рядки; 8 кг/га; з посівом
				Органік баланс	позакореневе; 2 л/га; 3 строки
3	Органо-мінеральна	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	14 т/га	—	—
4	Органічна	—	21 т/га	—	—
5	Мінеральна	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	—	—	—
6	Органічна	—	14 т/га	—	—
9	Інтенсивна	N ₃₉₀ P ₁₀₀ K ₂₁₀	—	Нутрівант плюс універсальний	2 кг/га; 3 строки
12	Біологічна	—	9 т/га + сидерати	Азотофіт	обробка насіння; 1 л/т
				Фосфогумін	в рядки; 8 кг/га; з посівом
				Органік баланс	позакореневе, 2 л/га; 3 строки
Ячмінь з підсівом люцерни (2023 р.)					
1	Без добрив	—	—	—	—
2	Сидеральна	—	—	Органік баланс	обробка насіння, 1 л/т
3	Органо-мінеральна	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	14 т/га	—	—
4	Органічна	—	21 т/га	—	—
5	Мінеральна	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	—	—	—
6	Органічна	—	14 т/га	—	—
9	Інтенсивна	N ₁₁₀ P ₁₃₀ K ₆₀	—	—	—
12	Біологічна	—	9 т/га	Органік баланс	обробка насіння, 1 л/т

¹ На 1 га сів озмінної площі

¹ На 1 га сівозмінної площі

Для характеристики поживного режиму проби ґрунту відбирали два рази — навесні (до посіву культур) та наприкінці вегетаційного періоду (перед збиранням врожаю). З кожного варіанту відбирали по п'ять індивідуальних проб з двох шарів (0-30 і 30-50 см).

У пробах ґрунту визначали: загальний вміст гумусу згідно з ДСТУ 4289; вміст нітратного та амонійного азоту — за ДСТУ 4729; вміст рухомих сполук фосфору й калію — за методом Чирикова за ДСТУ 4115; реакцію ґрунтового середовища (рН водний) — за ДСТУ 8346.

Впродовж поливного періоду відбирали проби зрошувальної води та визначали сольовий склад згідно з ДСТУ 7908:2015, ДСТУ 7909:2015, ДСТУ 7944:2015, ДСТУ 7945:2015, ДСТУ 7943:2015 і вміст важких металів згідно з [29].

Для моніторингу й діагностики стану ґрунту за станом рослинності було використано спектральні індекси — нормований індекс відмінностей рослинності (NDVI) та нормований індекс відмінностей зволоженості (NDMI), які обраховуються за даними багатоспектрального космічного сканування. Для аналізування було обрано супутникові знімки Sentinel-2 L2A для досліджуваної території за вегетаційні періоди 2022 та 2023 року.

Результати експериментів обробляли з використанням методів математичної статистики (кореляційно-регресійний аналіз) за допомогою програм Statistica та Microsoft Excel.

3. Метеорологічні умови у період досліджень

Клімат Харківської області характеризується як помірно континентальний. На рис. 1 наведено дані багаторічної динаміки середньої температури повітря впродовж вегетаційного періоду та кількості опадів за вегетаційний період, а також багаторічні дані за цими показниками (за період 2010-2023 рр.).

Слід зазначити, що 2022 і 2023 роки були посушливими, кількість опадів за вегетаційний період становила відповідно 235,1 і 317,2 мм, що нижче середнього багаторічного значення. Середня температура впродовж вегетаційних періодів відповідно у ці роки становила 20,9 та 19,1°С, що вище середнього багаторічного значення. Посушливість клімату впливає на значення показників поживного режиму ґрунту,

розчинність, рухомість та доступність поживних речовин для рослин, що визначає розвиток рослин, формування врожаю та якість продукції. Тому для отримання сталих врожаїв овочевих культур за посушливих умов вегетаційного періоду одним із ефективних заходів є зрошення.

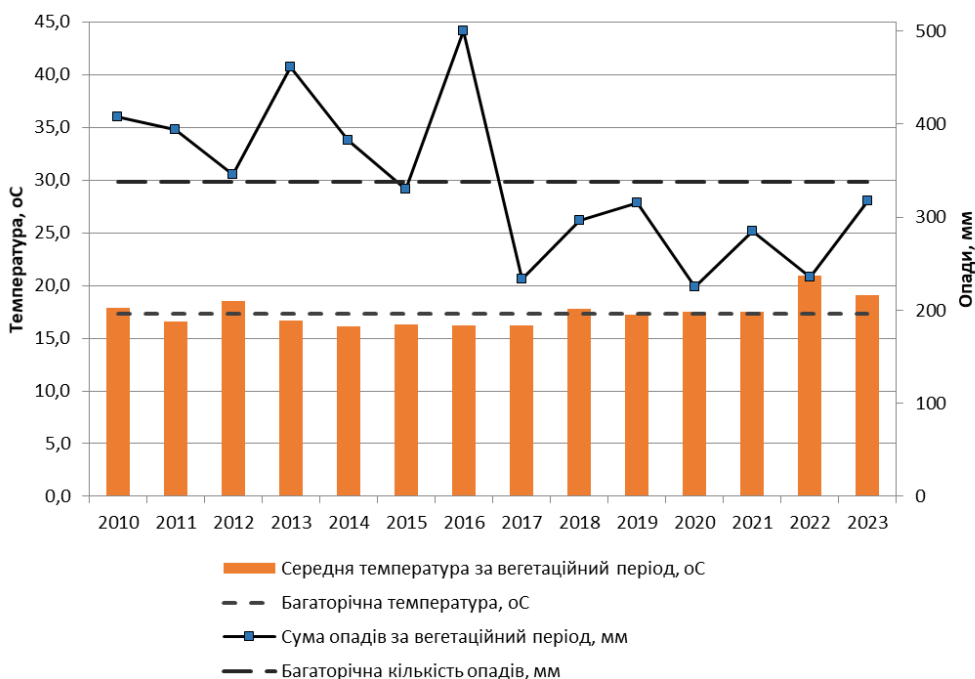


Рис. 1. Багаторічна динаміка середніх значень температури та опадів у Харківській області за вегетаційний період [29]

4. Результати досліджень

4.1. Якість зрошувальної води

Результати хімічного аналізу зразків зрошувальної води, відібраних впродовж поливного періоду (Табл. 2), дозволяють оцінити її, за вмістом солей, як прісну з мінералізацією 0,64 г/дм³, за реакцією — як лужну з рН водним 8,2. За агрономічними критеріями, згідно з ДСТУ 2730, поливну воду оцінено як придатну для зрошення. За екологічними критеріями, згідно з ДСТУ 7286, воду також оцінено як придатну для зрошення. Вміст важких металів у зрошувальній воді наведено у таблиці 3.

Таблиця 2

Хімічний склад зрошувальної води (усереднені дані за 2022-2023 рр.)

Вміст солей, г/дм ³	рН	Вміст іонів, ммоль/дм ³							
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
0,64	8,2	0,2	6,30	1,63	1,14	3,61	2,68	2,83	0,15

Таблиця 3

Вміст важких металів у зрошувальній воді (усереднені дані за 2022-2023 рр.)

Вміст важких металів, г/дм ³								
Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Cr
0,0009	0,003	0,007	0,05	0,005	0,003	0,003	0,001	0,004

4.2. Спектральні індекси — NDVI та NDMI

З використанням багатоспектральних космічних знімків для оцінювання поточного стану ґрунту, зокрема насиченості поживними речовинами та зволоженості, що безпосередньо зумовлює певний стан сільськогосподарських рослин, було застосовано спектральні індекси — Нормований індекс відмінностей рослинності NDVI (Normalized

difference vegetation index) та Нормований індекс відмінностей зволоженості *NDMI* (Normalized difference Moisture Index). Для розрахунку індексів було обрано супутникові знімки Sentinel-2 L2A. Проаналізовано знімки та мінливість значень даних впродовж вегетаційних періодів розвитку сільськогосподарських культур у 2022 та 2023 роках.

NDVI — це числовий показник якості та кількості рослинності на ділянці поля. Аналіз значень оптичних характеристик дозволяє оцінити густоту стояння рослин та розвиток активної біомаси, які, на наш погляд, можуть бути індикаторами забезпеченості рослин доступними поживними речовинами, що зумовлює розвиток зеленої фітомаси та визначає рівень врожайності вирощуваної культури.

За даними супутникових знімків 2022 року побудовано графік варіабельності значень вегетаційного індексу NDVI з квітня до жовтня за вирощування буряка столового (Рис. 2). У квітні, коли ґрунт ще не був вкритим рослинністю, значення NDVI були мінімальними (0,25). Найвищі значення (0,72–0,75) та, відповідно, найкращий стан рослин буряка столового і найбільшу густоту стояння було зафіксовано у серпні 2022 р. Саме період активного розвитку вегетуючих рослин відображається на знімках у вигляді насиченого зеленого кольору. Починаючи з вересня, значення показника знижувалися, а кількість зеленої маси зменшувалася, що пов'язано з фізіологією рослин та зменшенням накопичення хлорофілу у листі.

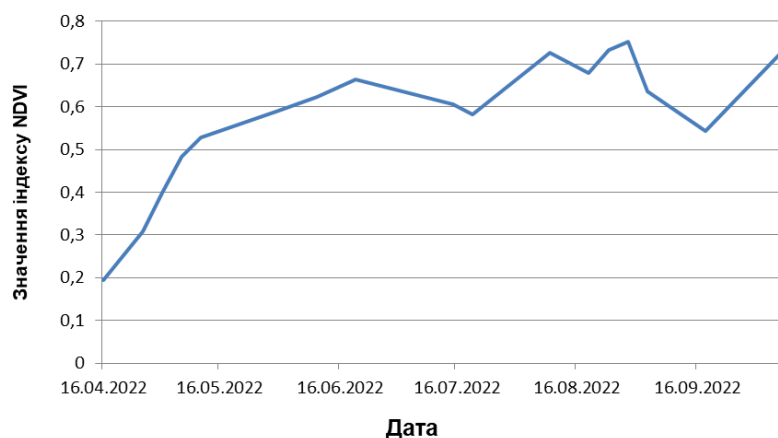


Рис. 2. Динаміка значень NDVI впродовж вегетаційного періоду в посівах буряка столового

У 2023 році вирощуваною культурою був ячмінь з підсівом багаторічних трав. У травні рослини добре розвивалися за наявності вологи у ґрунті та поживних речовин, значення NDVI впродовж місяця зросли з 0,48 до 0,69 (Рис. 3). Найбільша густота рослин та формування зеленої фітомаси було у червні, а значення вегетаційного індексу відповідно становили 0,76–0,77. У липні, після скошування ячменю та трав, зменшилося покриття ґрунту рослинністю, а з кінця серпня густота рослин внаслідок відростання зеленої маси багаторічних трав збільшилася, тому індекс NDVI зріс до 0,73, що характеризувало стан рослинності як дуже добрий. Починаючи з вересня, внаслідок посушливості та зменшення накопичення зеленої маси, відмічалася тенденція поступового зниження значень вегетаційного індексу, і у жовтні вони становили 0,53–0,36.

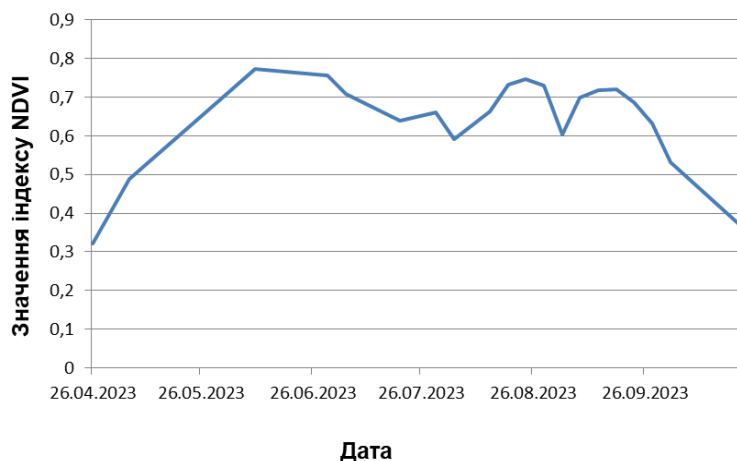


Рис. 3. Динаміка значень NDVI впродовж вегетаційного періоду в посівах ячменю з підсівом багаторічних трав

NDMI — спектральний показник, який використовується для оцінювання вмісту вологи в ґрунті та листях рослин. За його значеннями, наприклад, можливо зафіксувати водний стрес рослин. Розподіл значень NDMI упродовж вегетаційного періоду буряку столового у 2022 р. наведено на рисунку 4. У квітні–травні значення індексу були мінімальними, що свідчить про низьку густоту рослинного покриття та наявність водного стресу. З червня до липня, паралельно з розвитком рослин, величина NDMI підвищується та у липні досягає максимального значення 0,47, що характеризує густоту рослин як високу та вказує на відсутність водного стресу. Впродовж серпня–вересня значення даного показника становили 0,30–0,43, що свідчить про середню густоту стояння рослин та відсутність стресу внаслідок застосування зрошення та випадіння опадів (у вересні). Починаючи з початку жовтня, величина NDMI різко зменшилася, що пов'язано зі збиранням врожаю.

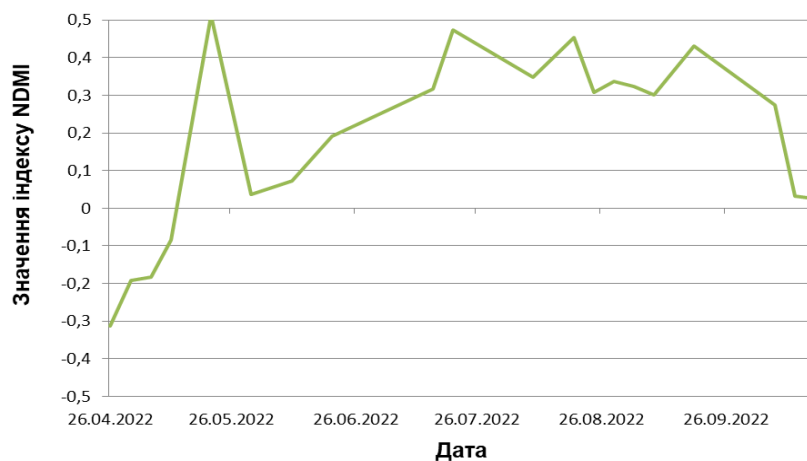


Рис. 4. Динаміка значень NDMI упродовж вегетаційного періоду в посівах буряку столового

Розподіл значень показника NDMI впродовж вегетаційного періоду ячменю з підсівом багаторічних трав у 2023 р. наведено на рисунку 5. Помітно, що вони були дещо нижчими, ніж у попередньому році. Це пов'язано з нижчим умістом вологи, оскільки вирощувана культура — ячмінь з підсівом люцерни, не поливалася, а умови вегетаційного періоду були посушливими. У квітні–травні значення індексу були мінімальними, що свідчить про низьку густоту стояння рослин. У червні значення NDMI були максимальними і становили 0,31, що пов'язано з більш високими значеннями вологості і найбільшим розвитком зеленої маси. Починаючи з липня і до серпня індекс вологості мав тенденцію до зниження, оскільки після збирання урожаю ячменю та скошування люцерни рослинний покрив був розрідженим. На початку вересня значення показника дещо підвищилися, а потім відмічається різке зниження, що пов'язано з посушливістю погоди та низькою вологістю ґрунту.

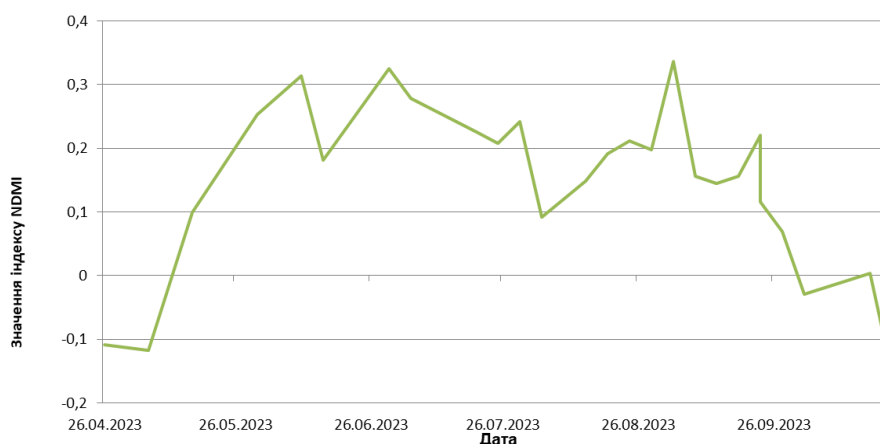


Рис. 5. Динаміка значень NDMI упродовж вегетаційного періоду в посівах ячменю з підсівом багаторічних трав

Вологість ґрунту крім дистанційних методів визначали також прямим вимірюванням (термостатно-ваговим методом) 15 травня та 15 вересня у 2023 році. Значення показника NDMI порівняли з даними вмісту води у ґрунті. У шарі 0–10 см 15 травня 2023 р. вміст води становив в середньому 20 % а значення індексу NDMI — 0,1. Восени (15 вересня 2023 р.) ґрунт містив у середньому 25 % води, а індекс NDMI — 0,14.

Використання індексів NDMI та NDVI надає можливість оцінити стан рослинності, забезпеченість рослин поживними речовинами та вологою з метою оптимізації сільськогосподарського виробництва, оскільки рослинність є індикатором стану ґрунту.

4.3. Вміст рухомих сполук азоту, фосфору і калію та інші характеристики родючості ґрунту

Чорнозем типовий, на якому розміщено стаціонарний польовий дослід, на час проведення досліджень характеризувався нейтральною реакцією ґрунтового середовища: значення pH водного в шарі 0–30 см на варіантах дослідів варіювали у діапазоні 7,1–7,4, а в шарі 30–50 см — 7,0–7,2. За тривалого зрошення (впродовж 55 років) гідрокарбонатною водою відбулося підвищення значень pH порівняно з вихідними даними до початку зрошення ґрунту. Реакція ґрунтового середовища має значний вплив на мінеральне живлення рослин.

Вміст органічного вуглецю у ґрунті контрольного (без добрив) варіанту становив 2,16 % ($\pm 0,02$ %). На варіантах із тривалим застосуванням систем удобрення вміст його був достовірно вищим і коливався від 2,25 до 2,44 % (відповідно 3,9 та 4,2 % гумусу). Гумус є енергетичною основою біологічних процесів і має властивості фізіологічно активних речовин, що регулюють процеси росту і живлення рослин.

Поживний режим ґрунту визначається вмістом доступних для рослин сполук макро- та мікроелементів. **Азот** є одним із важливих елементів живлення, необхідних для оптимального розвитку рослин. Він впливає на ріст рослин, формування фітомаси та врожаю; входить до складу білків, ферментів, є компонентом хлорофілу; відіграє важливу роль у біохімічних процесах. При проведенні досліджень визначали вміст у ґрунті нітратного та амонійного азоту. Нітратний азот є дуже рухливим, динамічним, здатним мігрувати у нижні горизонти ґрунту та підґрунтові води. У зрошуваному ґрунті мобільність його підвищується.

Визначення вмісту нітратного азоту у ґрунті різних варіантів дослідів показало варіабельність його значень і сезонну динаміку. У межах цієї статті ми представляємо результати вимірювань тільки наприкінці вегетаційного періоду 2022 року, тобто за дії зрошення (Рис. 6). Коефіцієнт варіації вмісту N-NO_3 у ґрунті різних варіантів дослідів становив 0,6. Вміст нітратного азоту оцінювався, переважно, як низький, але між варіантами є істотна різниця: вміст нітратного азоту варіював в орному шарі ґрунту від 2,35 (контроль) до 17,29 мг/кг. Найбільш високим вміст нітратного азоту був на варіанті 9 з інтенсивною системою удобрення та внесенням у ґрунт N_{390} і у шарах ґрунту 0–30 та 30–50 см відповідно становив 17,29 і 16,27 мг/кг.

Вміст амонійного азоту у ґрунті варіантів з різними системами удобрення також достовірно відрізнявся (Рис. 7). При цьому аналогічно розподілу нітратного азоту максимальними його значення були на варіанті 9 з високою дозою внесення азоту. Навіть за вирощування буряку столового та виносу азоту з урожаєм вміст його у ґрунті наприкінці вегетаційного періоду залишався високим.

Важливим показником є вміст мінерального азоту у ґрунті (Рис. 8). Насиченість ґрунту мінеральним азотом, згідно з ДСТУ 4362, лише на контролі та варіанті 2 з сидеральною системою удобрення є дуже низькою.

Ступінь забезпеченості рослин мінеральним азотом ґрунту на варіантах з органічною, органо-мінеральною та біологічною системами удобрення класифікувався як низький, за винятком варіанту з інтенсивною системою удобрення (високий). Порівняно з контролем вміст мінерального азоту на варіантах дослідів з удобренням підвищився на 3,32–23,24 мг/кг.

Важлива роль у живленні рослин належить **фосфору**, який бере активну участь у таких важливих процесах, що відбуваються в рослинах, як синтез вуглеводів, білків і жирів та фотосинтез. Він впливає на формування кореневої системи, сприяє стимуляції росту та цвітіння. Дослідженнями [30] встановлено, що достатня насиченість ґрунту фосфором сприяє прискореному розвитку рослин та оптимальному поглиненню поживних речовин і формуванню високих урожаїв.

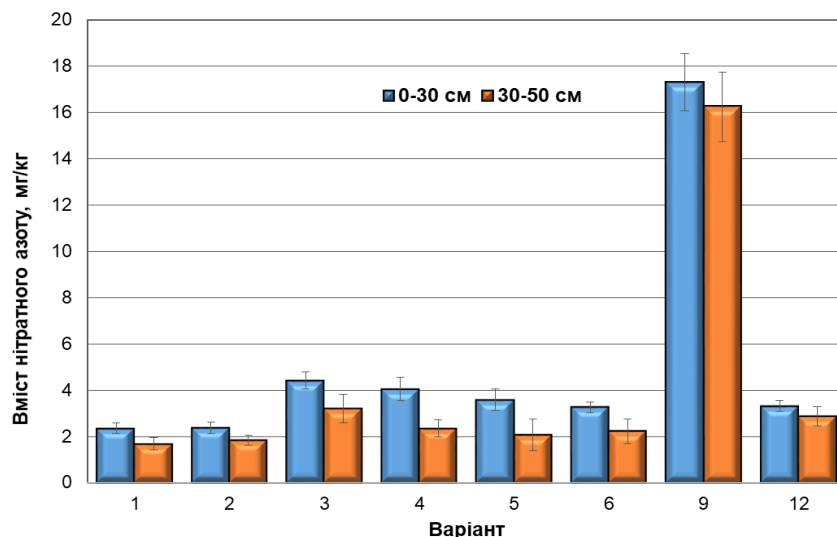


Рис. 6. Вміст нітратного азоту у ґрунті варіантів дослідів (2022 р.)

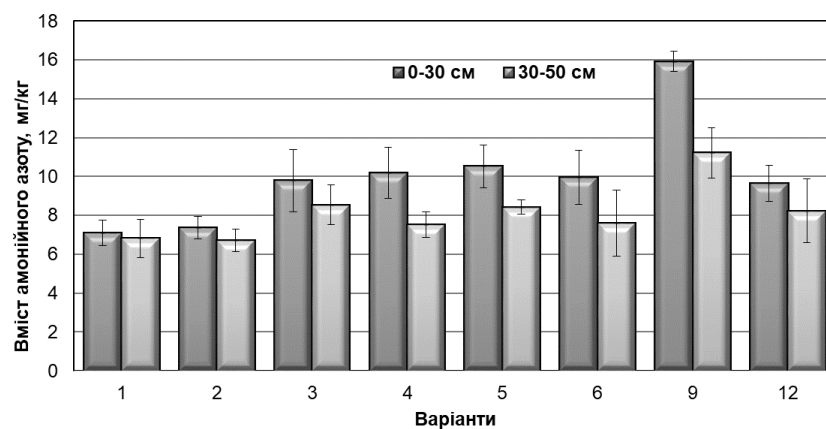


Рис. 7. Вміст амонійного азоту у ґрунті варіантів дослідів (2022 р.)

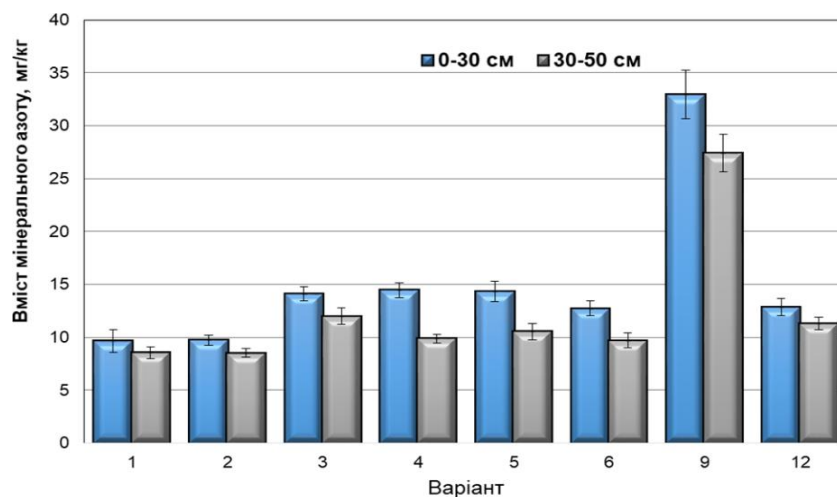


Рис. 8. Вміст мінерального азоту у ґрунті варіантів дослідів (2022 р.)

Аналіз результатів досліджень свідчить, що вміст рухомих сполук цього макроелементу характеризувався варіабельністю, і різниця між різними варіантами дослідів була істотною. Визначено позитивний вплив різних систем удобрення на вміст рухомих сполук фосфору у чорноземі типовому (Рис. 9). Мінімальними значення показника були на контрольному варіанті без застосування добрив і становили відповідно 186,69 мг/кг (шар 0–30 см) та 113,41 мг/кг (шар 30–50 см), що відповідає високому вмісту. На варіантах дослідів з різними системами удобрення вміст рухомих сполук фосфору коливався від 312,76 до 424,70 мг/кг у шарі 0–30 см та від 200,03 до 283,65 мг/кг у шарі

30–50 см, що відповідає дуже високому рівню. Найвищий вміст рухомих сполук фосфору в чорноземі типовому забезпечувало поєднане внесення органічних і мінеральних добрив у сівозміні.

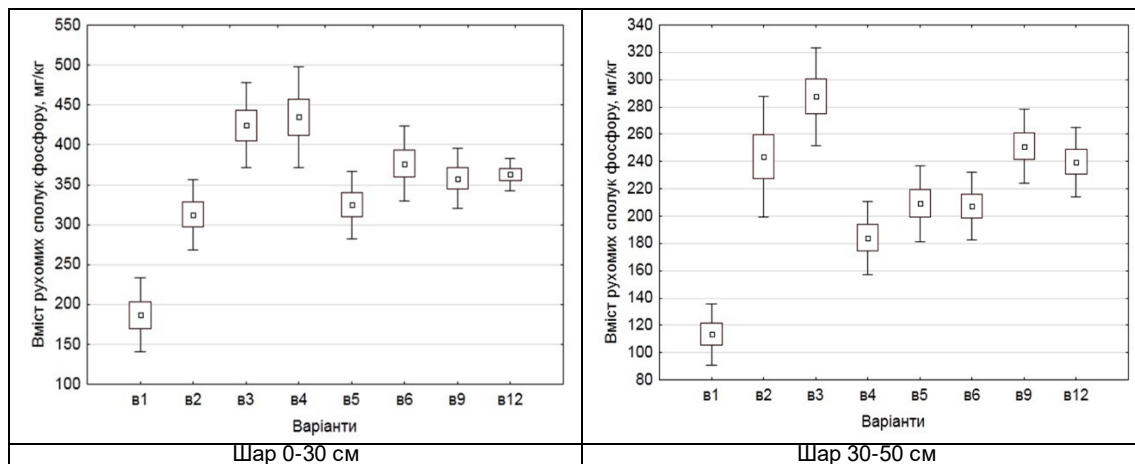


Рис. 9. Вміст рухомих сполук фосфору у ґрунті варіантів дослідів (2022 р.)

Калій як макроелемент також відіграє важливу роль у розвитку рослин та формуванні врожаю — покращує розвиток кореневої системи, регулює водний режим, підвищує стійкість рослин до посух, шкідників і хвороб. Результати досліджень свідчать, що всі системи удобрення, що вивчалися у досліді, сприяли підвищенню вмісту рухомих сполук калію (Рис. 10).

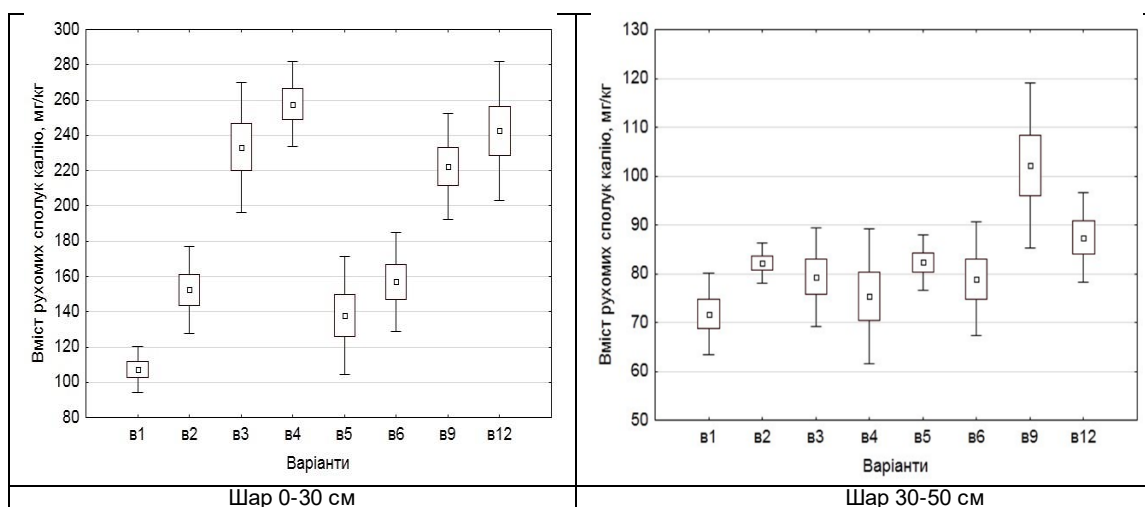


Рис. 10. Вміст рухомих сполук калію у ґрунті варіантів дослідів (2022 р.)

Рівень забезпеченості ґрунту калієм на контрольному варіанті характеризувався як підвищений з середніми значеннями вмісту відповідно 107,25 (шар 0–30 см) та 83,74 мг/кг (30–50 см). На варіантах із сидеральною, органічною, органо-мінеральною, мінеральною та біологічною системами удобрення вміст рухомих сполук калію у шарі 0–30 см варіював від 137,97 до 259,80 мг/кг. Найбільш високий вміст його зафіксовано на варіанті з максимальною дозою гною.

Поліпшення поживного режиму чорнозему типового за тривалого застосування органічних, мінеральних добрив, мікроелементів, сидеральної та біологічної системи в овочево-кормовій сівозміні позитивно впливало на ріст і розвиток рослин та формування врожаю буряку столового. За даними Інституту овочівництва і баштанництва НААН (2022 р.), на всіх варіантах дослідів врожай був достовірно вищим, ніж на контролі (без добрив). Найвищий рівень врожайності серед досліджуваних нами варіантів забезпечувала органо-мінеральна система удобрення (варіант 3) з приростом врожаю на рівні 37 т/га (порівняно з контролем без добрив).

4. Висновки

За результатами досліджень на чорноземі типовому Лівобережного Лісостепу встановлено, що застосування органічної, мінеральної, органо-мінеральної, сидеральної та біологічної систем удобрення за краплинного зрошення придатною водою різною мірою сприяло підвищенню насиченості ґрунту мінеральним азотом і рухомими сполуками фосфору та калію. Покращення поживного режиму ґрунту забезпечило підвищення врожайності буряку столового (за даними Інституту овочівництва і баштанництва НААН), при цьому найвищу прибавку отримано на варіанті з внесенням гною (14 т/га сівозмінної площі) + $N_{60}P_{60}K_{120}$.

Встановлено, що тривале застосування різних систем удобрення сприяло підвищенню вмісту органічного вуглецю порівняно з контрольним варіантом. За тривалого зрошення (впродовж 55 років) гідрокарбонатною водою відбулося підвищення значень рН водного ґрунтового розчину порівняно з вихідними даними до початку зрошення ґрунту.

Окрім польового методу для оцінювання стану ґрунту застосовано також дистанційні методи з використанням спектральних індексів NDMI та NDVI, які, за станом рослинності, надають змогу оцінити вплив ґрунтових та кліматичних чинників на розвиток рослин впродовж вегетаційного періоду.

На підставі аналізування кліматичних умов регіону досліджень доведено необхідність застосування зрошення для вирощування овочевих культур в умовах посушливості клімату, посилення доступності поживних речовин для рослин з метою отримання сталих врожаїв.

Список використаних джерел

1. Mackic K., Bajic I., Pejic B., Vlajic S., Adamovic B., Popov O., Sinic D. Yield and Water Use Efficiency of Drip Irrigation of Pepper. *Water*. 2023. 15(16). 2891. <https://doi.org/10.3390/w15162891>
2. Mishra S., Kumar R., Kumar M. Use of treated sewage or wastewater as an irrigation water for agricultural purposes – Environmental, health, and economic impacts. *Total Environment Research Themes*. 2023. 6. 100051. <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100051>
3. Yang P., Wu L., Cheng M., Fan J., Li S., Wang H., Qian L. Review on Drip Irrigation: Impact on Crop Yield, Quality, and Water Productivity in China. *Water*. 2023. 15(9). <https://doi.org/10.3390/w15091733>
4. Singh A., Kumar S., Dhaloiya A., Kumar N., Mor A., Kumar A., Dhanger P., Dagar H. Soil water dynamics and yield response of broccoli (Brassica oleracea) under drip irrigation with different irrigation frequency. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2022. 92(12). P. 1447-1452. <https://doi.org/10.56093/ijas.v92i12.123503>
5. Воронинцева Л. І. Системний підхід до сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів в умовах змін клімату. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Мжквід. тем. наук. зб. Вип. 89. Харків: ННЦ ІГА. 2020. С. 41-50. doi: <https://doi.org/10.31073/acss89-05>
6. Європейський зелений курс. <https://ukraine-eu.mfa.gov.ua/posolstvo/galuzeve-spivrobitnictvo/klimat-yevropejska-zelena-ugoda>
7. Soil strategy for 2030. European commission. URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/soil-and-land/soil-strategy_en#:~:text=the%20new%20eu%20soil%20strategy,halting%20desertification%20and%20land%20degradation
8. The Status of the World's Soil Resources report. Rome, FAO 2015.
9. Hou Di Sustainable soil management for food security. *Soil Use and Management*. 2023. 39(1). P. 1-7. <https://doi.org/10.1111/sum.12883>
10. Dhalwal S. S., Sharma V., Shukla A. K. Impact of micronutrients in mitigation of abiotic stresses in soils and plants - A progressive step toward crop security and nutritional quality. In L. S. Donald (ed.) *Advances in Agronomy*. 2022. Vol. 173. P. 1–78. <https://doi.org/10.3390/plants11192587>
11. Ansari S. A., Sittal T. Biofortification of food crops: an approach towards improving nutritional security in South Asia. *International Journal of Advances in Agricultural Science and Technology*. 2019. 6(12). P. 23-33. URL: <https://ijaast.com/2019.v6.i12pp23-33>
12. Kihara J., Bolo P., Kinyua M., Rurinda J., Persson K. Micronutrient deficiencies in African soils and the human nutritional nexus: opportunities with staple crops. *Environmental Geochemistry and Health*. 2020. 42(9). P. 3015-3033. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00499-w>
13. Zhang F., Chen M., Jintao F., Zhang X., Li Y., Shao Y., Yingying X., Wang X. Coupling effects of irrigation amount and fertilization rate on yield, quality, water and fertilizer use efficiency of different potato varieties in Northwest China. *Agricultural Water Management*. 2023. Vol. 287. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108446>
14. Mankotia S., Sharma J. C. Response of NPK fertilization and irrigation in nutrient and soil moisture distribution under high-density apple plantation in the NW Himalayan Region. *Communications In Soil Science and Plant Analysis*. 2023. <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2262516>
15. Yao R., Li H., Zhu W., Yang J., Wang X., Yin C., Jing Y., Chen Q., Xie W. Biochar and potassium humate shift the migration, transformation and redistribution of urea-N in salt-affected soil under drip fertigation: Soil column and incubation experiments. *Irrigation Science*. 2021. Vol. 40. P. 267–282. <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/20/3546-B24-water-15-03546>
16. Yang J., Jiao Y., Yang W., Gu P., Bai S., Liu L., Yu J. Effects of sprinkler and furrow irrigation methods on NH_3 volatilization from agricultural soils. *China Environmental Science*. 2019. Vol. 39. P. 960–968.

17. Fan Y., Hao X., Ding R., Kang S. Soil water and nitrogen dynamics from interaction of irrigation and fertilization management practices in a greenhouse vegetable rotation. *Soil Science Society of America Journal*. 2020. Vol. 84. P. 901–913. <https://doi.org/10.1002/saj2.20048>
18. Zhang R., Nie L., Huang M., Yang H., Shi C., Wei Y., Song L., Zhu J., Bo H., Wang J., Nieet H. Effects of Irrigation and Nitrogen Application on Soil Nutrients in Triploid Populus tomentosa Stands. *Forests*. 2022. 13(7). <https://doi.org/10.3390/f13071046>
19. Tong L., Jiaxin C., Wei G., Yingjun S., Ping L. The influence of organic and inorganic fertilizer applications on nitrogen transformation and yield in greenhouse tomato cultivation with surface and drip irrigation techniques. *Water*. 2023. 15(20). <https://doi.org/10.3390/w15203546>
20. Yavitt J. B., Wieder R. K., Wright S. J. Soil nutrient dynamics in response to irrigation of a Panamanian tropical moist forest. *Biogeochemistry*. 1992. 19(1). P. 1–25. <https://doi.org/10.1007/BF00000572>
21. Saad A., Elhabbak A., Abbas M., Mohamed I., AbdelRahman M., Scopa A., Bassouny M. Can deficit irrigations be an optimum solution for increasing water productivity under arid conditions? A case study on wheat plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2023. 30(2). <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103537>
22. Li H., Yang X., Kang Y., Li W., Li H., Qin S. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium combined fertilization on the dry matter accumulation, distribution and yield of potato under ridge and furrow film mulch cropping. *Potato Research*. 2022. Vol. 66. P. 851–871. <https://doi.org/10.1007/s11540-022-09596-3>
23. Elrys A. S., El-Maati A., Abdel-Hamed M. F., Arnaout E. M., El-Tarabily S. M., Desoky K. A. Mitigate nitrate contamination in potato tubers and increase nitrogen recovery by combining dicyandiamide, moringa oil and zeolite with nitrogen fertilizer. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. Vol. 209. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111839>
24. Li A., Wu Y., Tai X., Cao S., Gao T. Effects of alfalfa crop rotation on soil nutrients and loss of soil and nutrients in semi-arid regions. *Sustainability*. 2023. 15(20). <https://doi.org/10.3390/su152015164>
25. Khan M. A., Shampa S. A., Hossain M. B. Change of Plant Nutrient Availability in Soils of Rice Root Zone and Root Free Areas under Different Fertilizer, Manure and Irrigation Management with Rice Cropping. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*. 2021. 19(1). P. 44–52. <https://doi.org/10.5455/JBAU.36895>
26. Іваніна В. В., Павук І. А., Мазур Г. М. Поживний режим чорнозему вилугуваного за різних систем удобрення буряків цукрових. *Вісник аграрної науки*. 2018. №4. С. 13–18.
27. Мартинюк А. Т. Поживний режим ґрунту і врожайність буряку цукрового після тривалого застосування добрив у польовій сівозміні. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2020. № 1. С. 42–46. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2020-1-42-46>
28. Методы определения микроэлементов в почвах, растениях и водах; под ред. И. Г. Важенина. Москва: Колос, 1974. 288 с.
29. Метеопост. Статистика погоди. Кліматичні дані за роками та місяцями. URL: <https://meteopost.com/weather/climate/>
30. Pedersen I. F., Christensen J. T., Sorensen P., Christensen B. T., Rubaek G. H. Early plant height: A defining factor for yields of silage maize with contrasting phosphorus supply. *Soil Use and Management*. 2022. 38(1). P. 537–548. <https://doi.org/10.1111/sum.12697>

UDC 631.4:631.37

Variability of nutrient regime characteristics in irrigated soil under different fertilization systems

L. I. Vorotyntseva*, R. V. Panarin

National Scientific Center “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky”, Kharkiv, Ukraine

*E-mail: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

The article highlights the results of a research covering the influence of irrigation and different fertilization systems on the nutrient regime of typical heavy loam chernozem (Chernic Phaeozem) as an indicator of its quality. The research conducted in a long-term stationary field experiment of the Institute Of Vegetable And Melon NAAS (Kharkiv Region) under drip irrigation with suitable water. According to the analysis of meteorological conditions, during the growing season in the years of the study, the amount of precipitation was lower than the average long-term value, and the air temperature, on the contrary, was higher. The state of vegetation and soil on 8 variants with different fertilization systems under two crops of vegetable and fodder rotation was investigated. The content of nutrients, humus and pH in the soil at the end of the growing season of crops monitored. The dynamics of plant development analyzed using the NDVI and NDMI spectral indices for biomass and plant stand density indicators as indicators of soil nutrient and moisture availability. In 2022, for the cultivation of beets, the highest NDVI values (0.72–0.75) and, accordingly, the best state and density of vegetation recorded in August with the saturated green color of the growing plants. The maximum values of the moisture index (NDMI) (0.47) are in July, which characterizes the density of plants as high and no water stress. For the cultivation of barley with subsowing of perennial grasses in 2023, the highest plant density and formation of green phytomass recorded in June and at the end of August. NDMI values this year were lower than last year, indicating lower soil moisture due to lack of irrigation and dry conditions of the year. It found that during long-term irrigation with hydrocarbonate water, there was an increase in soil pH_{H2O} values compared to the initial data before the start of irrigation. However, the reaction of the soil environment in the 0–30 and 30–50 cm layers classified as neutral. On variants with different fertilization systems, the content of organic carbon in the soil was significantly higher than on the control, and ranged from 2.25 to 2.44% (layer 0–30 cm). Under different fertilization systems, the content of mobile nutrient compounds was characterized by variability and higher values compared to the control. At the end of the growing season, the degree of saturation of the soil with mineral nitrogen in the variants of the experiment with organic, organo-mineral and biological fertilization systems was classified as low, with the exception of the variant with an intensive fertilization system (high). The content of mobile phosphorus compounds corresponded to a very high level, and the highest values were for the combined application of organic and mineral fertilizers in crop rotation; the potassium content mostly assessed as high and very high. The highest level of yield was fixed with organo-mineral fertilization system.

Keywords: soil; irrigation; nutrients; fertilization systems; spectral index.

Citing: Vorotyntseva L. I., Panarin R. V. (2023). Variability of nutrient regime characteristics in irrigated soil under different fertilization systems. *AgroChemistry and Soil Science*, 95, 24-35. [doi:10.31073/acss95-03](https://doi.org/10.31073/acss95-03) [in Ukrainian].