

УДК 631.4:631.67

Ефективні агрономічні практики оптимізації вмісту та якості гумусу в ґрунті

Л. І. Воротинцева^{а*}, Р. В. Панарін^бНаціональний науковий центр "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського",
Харків, Україна

*E-mail: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 7.11.2024 Отримано після доопрацювання 17.12.2024 Затверджено до видання 18.12.2024 Доступно онлайн 27.12.2024	У статті висвітлено результати дослідження кількісних та якісних змін органічної речовини (гумусу) чорнозему типового (Haplic Chernozem), зрошуваного придатною водою, за різних систем удобрення сільськогосподарських культур в овочево-кормовій сівозміні у межах багаторічного польового досліді. Вміст органічного вуглецю є одним із головних дескрипторів здоров'я ґрунту і відіграє важливу роль у гарантуванні продовольчої безпеки, досягненні кліматичної нейтральності та запобіганні втрати біорізноманіття. Встановлено, що за роки ведення стаціонарного досліді (1967–2024) на неудобрюваному зрошуваному варіанті відбулося зменшення вмісту гумусу в орному та підорному шарах ґрунту порівняно з незрошуваним контролем з традиційною системою удобрення. Застосування різних систем удобрення — сидеральної, мінеральної, органічної, орґано-мінеральної та біологічної, за зрошення сприяло поліпшенню вуглецевого балансу і збільшенню вмісту гумусу в орному та підорному шарах ґрунту порівняно з контролем без добрив. Так, у ґрунті шару 0–30 см відносне підвищення вмісту гумусу на різних варіантах становило 6,0–14,7 %, а в шарі 30–50 см — 4,4–22,6 %. Застосування агрономічної практики оптимізації вмісту гумусу через удобрення вплинуло також на зміни якості органічної речовини (гумусу). Результати спектроскопічного аналізу показали, що спектри поглинання гумусових речовин ґрунту на різних варіантах досліді представлені типовою похилою лінією, що свідчить про подібність структурної організації гумусових речовин. Основні зміни спостерігаються в УФ-діапазоні, що пов'язано з ароматичними структурами та поліфенольними функціональними групами. Найбільш високий вміст ароматичних структур у препаратах гумусових речовин виявлено на варіантах з орґано-мінеральною та мінеральною системами удобрення та у незрошуваному ґрунті.

* E-mail: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

ORCID: ^а0000-0003-0643-8823, ^б0000-0003-4266-721X

Форма цитування: Воротинцева Л. І., Панарін Р. В. Ефективні агрономічні практики оптимізації вмісту та якості гумусу в ґрунті. Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. темат. наук. зб. / ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського". Харків: 2024. Вип. 97 С. 43–52.
doi: 10.31073/acss97-05

1. Вступ

Питання якості та здоров'я ґрунту є на сьогодні актуальним на міжнародному рівні. Здорові ґрунти відіграють важливу роль у гарантуванні продовольчої безпеки, досягненні кліматичної нейтральності та припиненні втрати біорізноманіття [1]. Відповідно, здорові ґрунти є запорукою сталого розвитку аграрного виробництва та забезпечують здоров'я людини.

В Європейському Союзі та в Україні прийнято низку стратегічних документів, що спрямовані на захист ґрунтів і поліпшення їх стану. Так, основними цілями Ґрунтової стратегії Європейського Союзу до 2030 року (EU Soil Strategy for 2030) є забезпечення здоров'я ґрунтів та їх сталий менеджмент, захист ґрунтів та досягнення нейтрального рівня деградації земель. В рамках Європейського *зеленого курсу*, який упроваджується з 2019 року, Єврокомісія відводить захисту ґрунтів провідне місце в політичному порядку денному, оскільки лише здорові ґрунти можуть забезпечити досягнення кліматичної нейтральності, нульового забруднення і сталості продовольчої безпеки [2].

Прийнятий Закон про моніторинг ґрунтів (Soil monitoring law) має вивести Євросоюз на шлях до здорових ґрунтів до 2050 року — за даними про стан і здоров'я ґрунтів за переліком визначених дескрипторів у подальшому має бути визначено практики сталого управління ґрунтами та прийнято управлінські рішення. Відповідно до Європейського законодавства вміст органічного вуглецю є одним з основних дескрипторів оцінювання стану здоров'я ґрунту. Важливим є введення гармонізованої для всіх країн методології моніторингу та оцінювання здоров'я ґрунту. Зв'язок між здоровим ґрунтом, його

продуктивністю і стратегіями сталого управління свідчить про важливість цілісного підходу до управління станом ґрунтів за допомогою кількісного оцінювання за показниками їх родючості [3].

Рішенням Кабінету Міністрів України від 23.07.2024 р. № 848 затверджено Порядок проведення моніторингу земель і ґрунтів, яким визначено механізм проведення моніторингу з метою своєчасного виявлення зміни стану земель, забруднення і властивостей ґрунтів, оцінювання здійснених заходів з охорони земель, збереження та відтворення родючості ґрунтів, запобігання впливу негативних процесів і ліквідації наслідків такого впливу [4]. Важливим наступним кроком є гармонізація національних підходів до створення баз даних за результатами моніторингу та оцінювання стану й здоров'я ґрунтів з європейськими підходами.

Однією із загроз для здоров'я ґрунту як в Європі, так і в Україні є втрата органічної речовини (гумусу) [5, 6, 7]. Органічний вуглець, як основний компонент гумусу, відіграє важливу роль у всіх процесах, що відбуваються у ґрунті, визначає його фізичні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні властивості, екологічні функції, рівень надання екосистемних послуг, стійкість ґрунту до дії зовнішніх чинників та ін. Вміст гумусу опосередковано впливає на продуктивність сільськогосподарських культур та є одним із найважливіших показників родючості ґрунту [8]. Введення ґрунтів у сільськогосподарське використання зумовило різкі зміни практично всіх ґрунтових процесів і властивостей, зокрема надходження у ґрунт органічних речовин та їх мінералізацію, що впливає на вміст гумусу та його якісний склад [7]. Тому важливим є питання нормативного, технологічного забезпечення управління органічним вуглецем у системі землекористування [6].

Чорнозем є ґрунтом з високим рівнем потенційної родючості і цінність його визначається вмістом, якістю та запасами гумусу у ґрунтовому профілі. Але у зв'язку з сільськогосподарським використанням та незбалансованим землекористуванням відбуваються втрати гумусу, що потребує застосування дієвих управлінських рішень та агро меліоративних заходів зі стабілізації та підвищення його концентрації.

Співставлення вмісту гумусу в ґрунтах за часів В. В. Докучаєва і в теперішній час показує, що його втрати за 130-річний період становили в Лісостепу 22 %, в Степу — 19,5 % і в Поліссі України — близько 19 %. Щорічні втрати гумусу в орних ґрунтах становлять 550–600 кг/га [8]. Аналіз динаміки вмісту гумусу в чорноземних ґрунтах за 133-річний період свідчить про те, що він поступово знижувався, починаючи з 1883 р. і до 60-70-х років 20-го століття. Потім відмічалось поступове уповільнення цього процесу (1980–2000 рр.) і стабілізація [9]. Згідно з прогностичними розрахунками можливі такі сценарії: стабілізація вмісту органічного вуглецю за умов простого відтворення родючості ґрунту або подальше зменшення за незбалансованого землекористування [10].

Більш широке застосування практик сталого управління ґрунтами сприятиме збільшенню секвестрації вуглецю. Одним із напрямів є вуглецеве землеробство, спрямоване на підвищення вмісту органічного вуглецю у ґрунті та зменшення викидів парникових газів. В Україні запущено вуглецеву програму «Carbon Credit Ukraine», за якою передбачено безвідсоткове кредитування фермерів та стимулювання переходу на відновлювальні методи ведення господарювання для підвищення й збереження вмісту у ґрунті органічного вуглецю на відповідному рівні.

У роботі Дегтярьова В. В. і Щербакова О. Ю. [11] проаналізовано вплив глобальних змін клімату на загальний вміст гумусу в чорноземах типових Лівобережного Лісостепу.

Однією із агрономічних практик підвищення вмісту органічного вуглецю у ґрунті та зміни його якості є застосування різних систем удобрення. Дослідженнями Резнік С. В., Гавва Д. В. [12] встановлено, що в умовах органічного землеробства на полях, де періодично застосовують сидерати або вносять компост із гноєм великої рогатої худоби, спостерігається накопичення у ґрунті органічних решток, що сприяє зростанню і загального вмісту вуглецю, і вмісту нерозчинного залишку.

Дослідженнями на чорноземі типовому, у сівозміні з двома полями просапних культур (цукрові буряки і кукурудза), встановлено, що головним чинником регулювання балансу гумусу є органічні добрива: внесення гною (в середньому 8 т на 1 га сівозмінної площі), особливо за сукупного застосування його з мінеральними добривами, на кінець 5-ї ротації забезпечили приріст вмісту гумусу [7].

Дослідженнями Ревтьє-Уварової А. В. із співавторами [13] встановлено зміни параметрів вмісту органічного вуглецю (Сорг) у чорноземі типовому, які залежать від системи удобрення культур польової сівозміни. У 28-річній ретроспективі фіксується чітка тенденція до поступової акумуляції Сорг, абсолютний вміст якого зростає за впровадження систем удобрення у ряду: мінеральна — +0,14–0,15 %; органічна — +0,29; органо-мінеральна — +0,37–0,38 %. Найбільше сприяє депонуванню вуглецю у ґрунті систематичне застосування мінеральних і періодичне внесення органічних добрив.

Метааналіз дослідників з Китаю [14] показав, що вміст органічного вуглецю за використання органічних добрив підвищився на 16,2 %, органічних сукупно з мінеральними — на 19,6 %, але без удобрення значно знижувався — на 3,9 % порівняно з вихідним ґрунтом. Роботою Bohoussou Y. та ін. [15] встановлено, що застосування гною і гною сукупно з мінеральним азотом є більш ефективним щодо зв'язування органічного вуглецю у ґрунті порівняно із застосуванням лише мінерального азоту. Актуальними є також дослідження з вивчення впливу різних систем удобрення на якісний склад гумусу [16, 17].

Отже, питанню стабілізації вмісту органічного вуглецю, як одному із важливих дескрипторів здорового ґрунту, що забезпечує його стале функціонування, приділяється значна увага як на міжнародному, так і на національному рівнях.

Мета статті — висвітлення результатів досліджень з визначення кількісних та якісних змін органічної речовини (гумусу) зрошуваного чорнозему типового за різних систем удобрення у межах польового стаціонарного досліді.

2. Об'єкти та методи досліджень

Дослідження проведено у тривалому стаціонарному польовому досліді Інституту овочівництва і баштанництва НААН, у Харківській області у межах зони Лісостепу Лівобережного. Ґрунт дослідної ділянки представлено чорноземом типовим важкосуглинкового гранулометричного складу (Naplic Chernozem).

Ґрунт досліді з 1967 року використовується спочатку в 4-пільній овочевій сівозміні, а після реконструкції досліді — в овочево-кормовій сівозміні. Зараз досліді 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.

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. Ґрунт на всіх досліджуваних варіантах досліді тривалий час зрошується прісною водою з р. Мжа.

Дослідження проводили у 2022-2024 рр. на 8 ключових варіантах 9-пільного польового досліді з різними системами удобрення: сидеральною, органо-мінеральною, органічною, мінеральною, інтенсивною та біологічною (Табл. 1) у ланці сівозміни: буряк столовий – ячмінь з підсівом люцерни – люцерна 1 року використання. У 2024 році за вирощування люцерни 1 року використання добрива не застосовували. Сидеральна та біологічна системи удобрення передбачали внесення мікробних препаратів, а інтенсивна система – внесення мікродобрив у ґрунт. Для порівняння впливу зрошення на вміст органічної речовини було взято незрошувану ділянку ріллі у безпосередній близькості до стаціонарного досліді.

Проби ґрунту на визначення вмісту органічного вуглецю відбирали кожного року наприкінці вегетаційного періоду з шарів 0–30, 30–50, 50–75, 75–100 см, але у цій статті ми зосередили увагу на показниках орного (0–30 см) та підорного (30–50 см) шарів ґрунту.

Для оцінювання кількісних та якісних змін гумусових речовин чорнозему типового використовували такі методи аналітичних досліджень:

- визначення вмісту гумусу згідно з ДСТУ 4289:2004¹;
- дослідження електронних спектрів поглинання гумусових речовин в ультрафіолетовому (УФ) і видимому діапазонах.

УФ/видиму спектроскопію препаратів гумусових речовин проводили на спектрофотометрі SF0171 в діапазоні вимірювання від 220 до 500 нм в кварцових кюветах.

¹ ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. [Чинний від 2005–07–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 14 с

За еталон порівняння брали дистильовану воду. Гумусові речовини із підготовлених ґрунтових зразків виділяли за допомогою 0,1 н розчину NaOH. Аналіз виконано в лабораторії органічних добрив і гумусу ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського».

Таблиця 1

Схема досліду (2022 і 2023 рр.)

Варі- ант	Система удобрення	Мінеральні добрива	Гній ¹ (післядя)	Мікробні препарати; мікродобрива	Спосіб; доза; строк внесення
<i>Буряк столовий (2022 р.)</i>					
1	Без добрив	—	—	—	—
2	Сидеральна	—	—	Азотофіт	обробка насіння; 1 л/т
3	Органо-мінеральна	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	14 т/га	Фосфогумін	в рядки; 8 кг/га; з посівом
4	Органічна	—	21 т/га	Органік баланс	позакореневе; 2 л/га; 3 строки
5	Мінеральна	N ₆₀ P ₆₀ K ₁₂₀	—	—	—
6	Органічна	—	14 т/га	—	—
9	Інтенсивна	N ₃₉₀ P ₁₀₀ K ₂₁₀	—	Нутривант 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
<i>Ячмінь з підсівом люцерни (2023 р.)</i>					
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 сівозмінної площі

Для аналізу кількісних та якісних змін органічної речовини (гумусу) чорнозему типового під впливом багаторічного зрошення й удобрення було використано дані досліджень Інституту овочівництва та баштанництва НААН та лабораторії родючості зрошуваних і солонцевих ґрунтів ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» [18].

Обробку результатів аналізування проводили з використанням методів математичної статистики (кореляційно-регресійний аналіз) за допомогою програм Statistica та Microsoft Excel.

3. Результати досліджень

3.1. Вміст гумусу у чорноземі типовому за різних систем удобрення та зрошення

Аналіз фондових матеріалів лабораторії та публікацій вчених, що проводили дослідження на даному стаціонарі, свідчать, що за тривалого сільськогосподарського використання й інтенсивного вирощування овочевих культур у досліджуваному ґрунті виявлено ознаки розвитку деградаційних процесів, одним із яких було зменшення вмісту гумусу. Тому для припинення погіршення властивостей ґрунту і зниження його родючості після четвертої ротації (у 1984 році) було проведено реконструкцію дослідів — включення до сівозміни багаторічних трав та зернових культур. Структура сівозміни є одним із важливих чинників, що впливає на баланс гумусу, поживних речовин у ґрунті та родючість ґрунту, особливо за інтенсивного вирощування овочевих культур в умовах зрошення.

Однією із агрономічних практик забезпечення додатного балансу гумусу і підтримання або збільшення вмісту органічного вуглецю у ґрунті є удобрення. В стаціонарному досліді вивчали вплив та порівняльну ефективність тривалого застосування різних систем удобрення на вміст органічної речовини (гумусу) у зрошуваному чорноземі типовому.

Результати досліджень свідчать, що за інтенсивного сільськогосподарського використання чорнозему типового із застосуванням та без застосування різних систем удобрення у ґрунті відбулися зміни вмісту гумусу в орному та підорному шарах порівняно з ґрунтом до закладки досліду [18].

Аналіз визначення сучасного вмісту гумусу у зрошуваному чорноземі типовому свідчить, що за застосування сидеральної, органо-мінеральної, мінеральної та біологічної систем удобрення відбувається його поступове підвищення за рахунок збільшення надходження рослинних решток. На всіх варіантах із системами удобрення вміст гумусу був достовірно вищим, ніж на контролі без застосування добрив. На контрольному варіанті (без удобрення) в орному шарі 0–30 см він становив 3,68 % ($\pm 0,13$ %), а на варіантах із системами удобрення достовірно зріс до 3,90–4,22 % (Рис. 1). Найменша істотна різниця (HIP_{05}) між варіантами становила 0,13 %. Порівняно з ґрунтом контрольного варіанту відносне підвищення вмісту гумусу на удобрюваних варіантах у шарі 0–30 см становило 6,0–14,7 %, а в шарі 30–50 см — 4,4–22,6 %. Найбільш високими значення вмісту гумусу були на варіанті з біологічною системою удобрення (вар. 12), що включала застосування гною (9 т/га сівозмінної площі), сидератів і мікробних препаратів відповідно до схеми досліду (див. табл. 1). На варіанті з сидеральною системою удобрення, що включала застосування мікробних препаратів, але без застосування гною, ефект був слабшим.

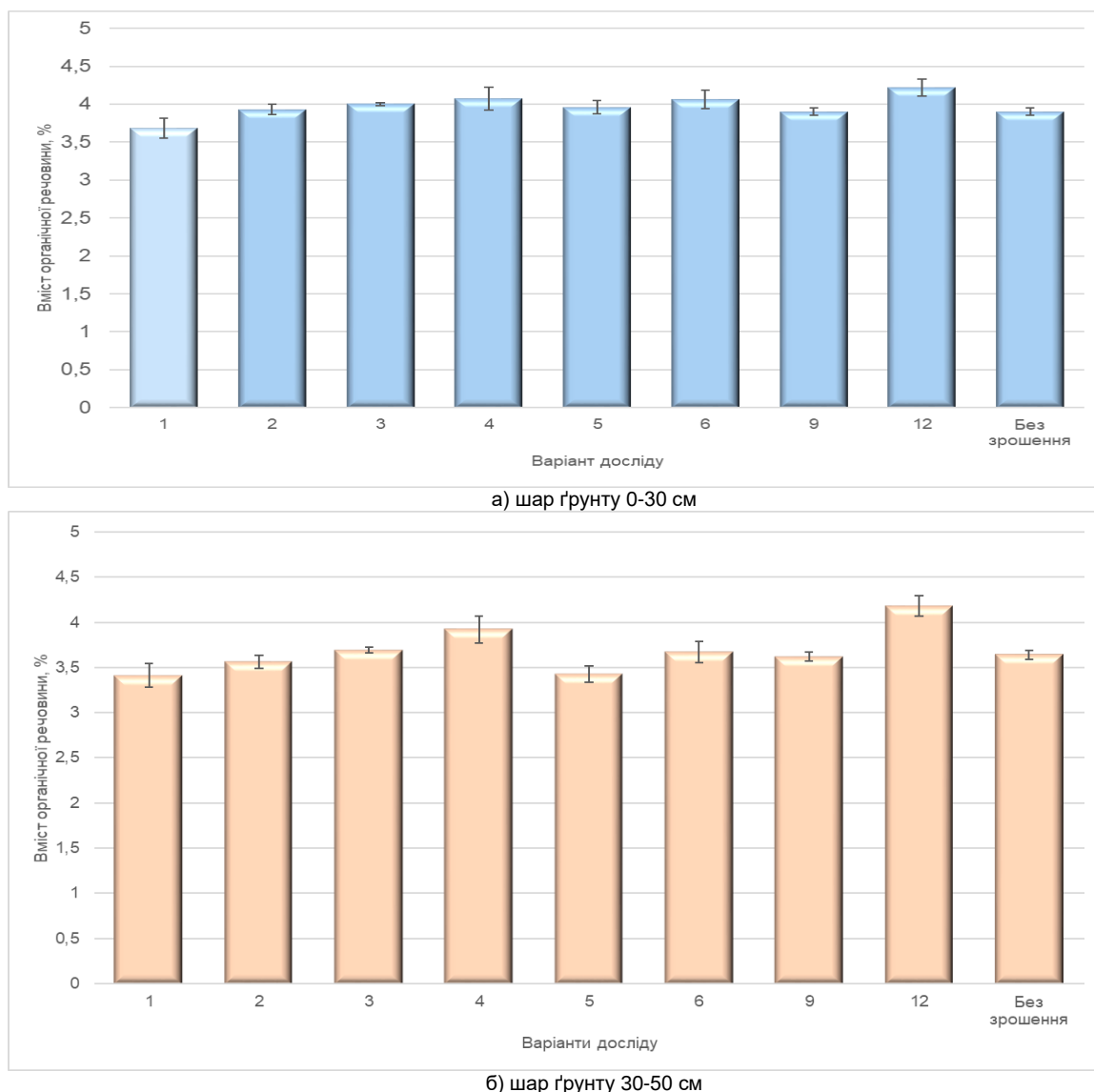


Рис. 1. Вміст органічної речовини (гумусу) у ґрунті варіантів дослідження
Примітка. HIP_{05} для шару ґрунту 0-30 см – 0,13 %, 30-50 см – 0,22 %. Опис варіантів — у табл. 1

Слід відмітити, що на варіантах з органічною (вар. 4 і 6) та органо-мінеральною (вар. 3) системами удобрення вміст гумусу був дещо вищим, ніж на варіантах з мінеральною (вар. 5 і 9) та сидеральною (вар. 2) системами, що узгоджується з результатами інших досліджень [7]. Згідно з ДСТУ 4362:2004² вміст гумусу у ґрунті різних варіантів досліджу оцінювався як підвищений і високий.

Отже, встановлено ефективність різних агрономічних практик в оптимізації вмісту гумусу в чорноземі типовому, що використовується в овочево-кормовій сівозміні. У незрошуваному ґрунті із традиційною системою удобрення сільськогосподарських культур вміст гумусу був вищим порівняно з тривало зрошуваним контролем без внесення добрив і у шарі 0–30 см становив 3,90 % ($\pm 0,05$ %). Це свідчить про позитивну роль традиційної системи удобрення, навіть без зрошення, у підвищенні вмісту гумусу, а отже, і родючості ґрунту.

Вниз за профілем чорнозему типового відбувається поступове зниження вмісту гумусу, що пов'язано з генетичними особливостями формування та зі зменшенням надходження рослинних решток у більш глибокі шари. Особливо помітним воно є з глибини 50–75 см.

Застосування різних систем удобрення в овочево-кормовій сівозміні, вирощування багаторічних трав позитивно вплинуло на вміст гумусу. Відмічається достовірне його підвищення порівняно з контролем, особливо на варіантах з внесенням гною та мінеральних добрив (вар. 3), інтенсивною системою удобрення (вар. 9) та біологічною із застосуванням гною, сидератів та мікробних препаратів (вар. 12).

3.2. Електронні спектри поглинання розчинів гумусових речовин в ультрафіолетовому (УФ) та видимому діапазонах

На рисунку 2 представлено електронні спектри поглинання в УФ та видимому діапазонах розчинів фракцій гумусових речовин за досліджуваними варіантами, що загалом відрізняються за інтенсивністю поглинання. Спектри поглинання представлені невизначеною похилою лінією, інтенсивність якої зменшується за збільшення довжини хвиль, що є характерним для гумусових речовин. Метод електронної спектроскопії поглинання в УФ та видимому діапазонах дозволяє виявити зміни гумусових речовин. Основні зміни спостерігаються в УФ-діапазоні, що пов'язано з ароматичними структурами та поліфенольними функціональними групами.

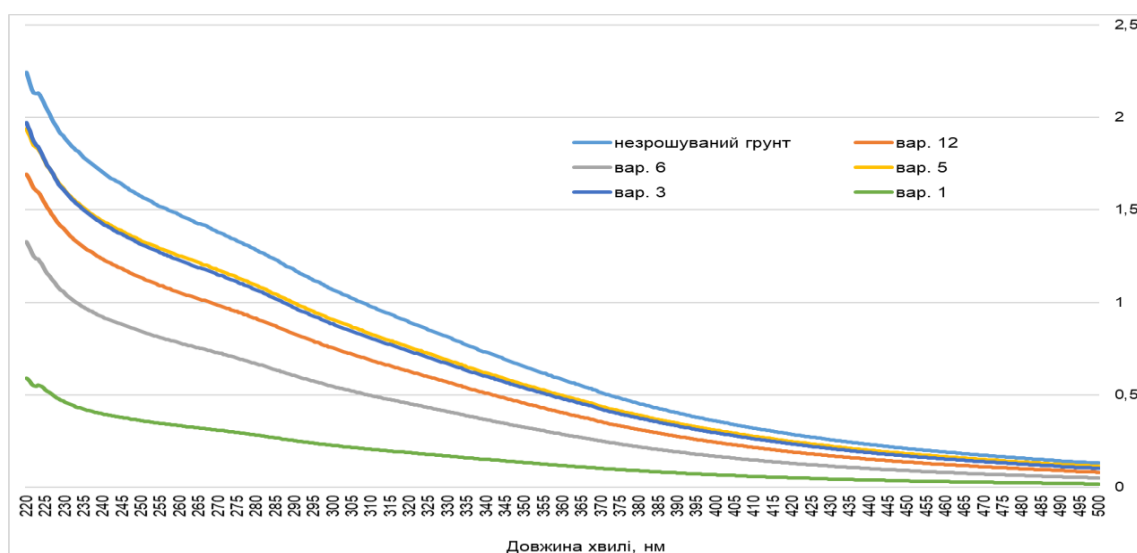


Рис. 2. Електронні спектри поглинання препаратів гумусових речовин в УФ та видимому діапазонах (шар ґрунту 0–30 см)

² ДСТУ 4362:2004^в Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. [Чинний від 2006–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 30 с.

Поглинання в УФ спектрі розчинами гумусових речовин зумовлено наявністю хромофорних зв'язків, а саме π - π електронною системою спряжених подвійних зав'язків ароматичних структур, що зумовлюють інтенсивність забарвлення розчину [19]. Інтенсивне поглинання в УФ діапазоні гумусовими речовинами пов'язане зі збільшенням концентрації низькомолекулярних ароматичних структур з подвійними вуглецевими зв'язками ($C=C$), що збільшує інтенсивність забарвлення гумусового розчину.

За результатами досліджень виявлено підвищення інтенсивності поглинання в УФ спектрі за довжини хвилі в діапазоні 200-470 нм розчинами препаратів гумусових речовин ґрунту варіантів 3, 5, 6, 12 та незрошуваного ґрунту порівняно з контролем (без застосування добрив). Спостерігається найвища амплітуда поглинання для незрошуваного ґрунту, а для варіанту 3 з органо-мінеральною та варіанту 5 з мінеральною системою вони були практично однакові. На варіанті 6 з органічною системою відмічена найменша інтенсивність УФ поглинання серед досліджуваних варіантів, окрім контролю.

Показник SUVA 254 nm (specific ultraviolet absorbtion – специфічне ультрафіолетове поглинання) за довжини хвилі 254 нм вказує на загальне поглинання розчинених органічних речовин ароматичної природи у розчині гумусових речовин. Дані таблиці 2 свідчать, що SUVA 254 nm збільшується на варіантах 3, 5, 6, 12 та незрошуваному ґрунті, що підтверджує достовірне підвищення концентрації ароматичних структур в розчині гумусових речовин ґрунту цих варіантів порівняно з ґрунтом контролю без добрив. Найбільш високе значення SUVA 254 nm розчинів відмічено на варіанті 5 з мінеральною системою та незрошуваному ґрунті, найменше – на варіанті 6 з органічною системою. У таблиці 2 наведено показники кольоровості (A_{300}/A_{500}) розчинів фракцій гумусових речовин досліджуваних варіантів. Звуження значення кольоровості або ступеню конденсації свідчить про підвищення інтенсивності забарвлення розчину гумусових речовин через збільшення вмісту хромофорних спряжених подвійних зав'язків вуглецю в ароматичних структурах.

Таблиця 2

Спектральні показники SUVA 254 nm та ступінь кольоровості A_{300}/A_{500} розчинів фракцій гумусових речовин лабільної частини органічної речовини

Варіант досліджу	SUVA 254 nm	Амплітуда поглинання 300 nm	Амплітуда поглинання 500 nm	Ступінь кольоровості A_{300}/A_{500}
1	0,349	0,227	0,019	11,95
3	1,278	0,883	0,103	8,57
5	1,300	0,906	0,113	8,02
6	0,816	0,546	0,051	10,71
12	1,099	0,753	0,082	9,18
Незрошуваний ґрунт	1,529	1,069	0,131	8,16

Таким чином, підвищення вмісту ароматичних низькомолекулярних структур з подвійними ненасиченими вуглецевими зв'язками та інтенсивності забарвлення витяжок фракцій гумусових речовин лабільної органічної речовини ґрунту відбувається на варіантах з системами удобрення та на незрошуваному ґрунті. Найбільший вміст ароматичних структур розчинів витяжок гумусових речовин виявлено у розчинах з варіантів з органо-мінеральною, мінеральною системами та незрошуваному ґрунті. Збільшення концентрації ароматичних низькомолекулярних структур з подвійними ненасиченими вуглецевими зв'язками, лабільної частини органічної речовини ймовірно пов'язано з активним новоутворенням молодих гумусових речовин, тобто інтенсивним термодинамічним відбором найбільш стійких органічних структур в результаті підвищення активності трансформації свіжої органічної речовини, що зумовлено дією систем удобрення. Тому незначні зміни вмісту загального вуглецю у ґрунті варіантів 3, 5 та у незрошуваному ґрунті можуть пояснюватися активною трансформацією лише лабільної частини органічної речовини, яка швидко розкладається (та вивільнює поживні речовини) і компенсується свіжим органічним матеріалом (за рахунок внесених добрив), але слабо стабілізується у більш зрілі гумінові структури, які впливають на загальний вміст вуглецю у ґрунті.

4. Висновки

На підставі аналізу літературних джерел доведено актуальність питання стабілізації вмісту органічного вуглецю, як одного із важливих дескрипторів здоров'я ґрунту, що забезпечує його стає функціонування. На прикладі чорнозему типового, що використовується у зрошуваній овочево-кормовій сівоzmіні, встановлено ефективність різних агрономічних практик в оптимізації вмісту гумусу зокрема різних систем удобрення та типу сівоzmіні. Внаслідок зміни сівоzmіні на овочево-кормову та насичення її багаторічними травами, а також за застосування різних систем удобрення відмічається позитивний ефект — підвищення вмісту гумусу у зрошуваному чорноземі типовому. У ґрунті шару 0–30 см відносно підвищення вмісту гумусу за застосування різних систем удобрення становило 6,0–14,7 %, а в шарі 30–50 см — 4,4–22,6 % порівно з контрольним варіантом без добрив.

На варіантах з органічною та органо-мінеральною системами удобрення вміст гумусу був дещо вищим, ніж на варіантах з мінеральною та сидеральною системами. Найвищими значення цього показника були на варіанті з біологічною системою удобрення, що включала застосування гною (9 т/га сівоzmінної площі), сидератів і мікробних препаратів відповідно до схеми досліду.

За результатами спектроскопічного аналізу, основні зміни в складі гумусових речовин спостерігаються в УФ-діапазоні, що пов'язано з ароматичними структурами та поліфенольними функціональними групами. Підвищення вмісту ароматичних низькомолекулярних структур з подвійними ненасиченими вуглецевими зв'язками та посилення інтенсивності забарвлення витяжок фракції гумусових речовин лабільної органічної речовин ґрунту відбувається на досліджуваних варіантах з системами удобрення та в незрошуваному ґрунті. Найбільш високий вміст ароматичних структур у гумусових речовинах виявлено на варіантах з органо-мінеральною і мінеральною системами удобрення та у незрошуваному ґрунті.

Подяка. Автори висловлюють слова вдячності співробітникам Інституту овочівництва і баштанництва НААН за надану можливість проведення досліджень у стаціонарному польовому досліді і співробітникам лабораторії органічних добрив і гумусу ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» за допомогу у визначенні електронних спектрів поглинання препаратів гумусових речовин ґрунту.

Список використаних джерел

1. Panagos P., Broothaerts N., Ballabio C., Orgiazzi A., Rosa D., Borrelli P., ... Jones A. How the EU Soil Observatory is providing solid science for healthy soils. *European Journal of Soil Science*. 2024. Vol. 75, Is. 3. [Article No. e13507](https://doi.org/10.1111/ejss.13507). <https://doi.org/10.1111/ejss.13507>
2. Montanarella L., Panagos P. The relevance of sustainable soil management within the European Green Deal. *Land Use Policy*. 2021. Vol. 100, 104950. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104950>
3. Handayani I. P., Hale C. Healthy Soils for Productivity and Sustainable Development in Agriculture. 1st International Conference on Agriculture, Food, and Environment. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1018. 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1018/1/012038>
4. Про затвердження Порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів: постанова Кабінету Міністрів України від 23.07.2024 р. № 848. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-2024-%D0%BF#Text>
5. Chaplot V., Smith P. Cropping leads to loss of soil organic matter: How can we prevent it? *Pedosphere*. 2022. Vol. 33(1). P. 8-10. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.06.002>
6. Балюк С. А., Шимель В. В. Про стан та завдання управління органічним вуглецем ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2024. 102(6). С. 5-13. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202406-01>
7. Балюк С. А., Носко Б. С., Скрильчик Є. В. Сучасні проблеми біологічної деградації чорноземів і способи збереження їх родючості. *Вісник аграрної науки*. 2016. 94(1). С. 11-17. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201601-02>
8. Стратегія збалансованого використання, відтворення і управління ґрунтовими ресурсами України; за ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва. Київ: Аграрна наука, 2012. 239 с.
9. Медведєв В. В., Пліско І. В. Чорноземи як передумова сталого розвитку України. *Посібник українського хлібороба «Українські чорноземи на початку третього тисячоліття»*. 2016. Том 1. С. 65-70.
10. Балюк С. А., Медведєв В. В., Соловей В. Б., Воротинцева Л. І., Янєс Л. А. *Український чорнозем – 140 років після В. В. Докучаєва: сучасний стан, еволюція та управління*. Наукова монографія. Харків, 2021. 191 с.
11. Дегтярьов В. В., Щербаків О. Ю. Уміст гумусу в чорноземах типових Лівобережного Лісостепу України у зв'язку з глобальними змінами клімату. *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник*. 2023. Вип. 95. Харків: ННЦ «ІГА ім. О. Н. Соколовського». С. 60-68. <https://doi.org/10.31073/acss95-06>
12. Резнік С. В., Гавва Д. В. Гумусовий стан чорнозему типового глибокого середньосуглинкового в умовах органічного й традиційного землеробства. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія*. 2023. 53(3). С. 65-69. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.3.9>

13. Ревтьє-Уварова А. В., Ніконенко В. М., Карацуба О. В., Сліденко О. І. Параметризація змін умісту органічного вуглецю залежно від системи удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2020. 98(11) С. 16-23. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202011-02>
14. Zhang N., Chen X., Wang J., Dong H., Han X., Lu X., ... Zou W. Anthropogenic soil management performs an important role in increasing soil organic carbon content in northeastern China: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2023. 350. 108481. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108481>
15. Bohoussou Y., Kou Y.-H., Yu W.-B., Lin B., Virk A., Zhao X., ... Zhang H.-L. Impacts of the components of conservation agriculture on soil organic carbon and total nitrogen storage: A global meta-analysis. *Science of The Total Environment*. 2022. 842. 156822. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156822>
16. Voitovyk M., Prymak I., Tsyuk O., Melnyk V. Qualitative composition of humus and physical and chemical properties of typical chernozem depending on the fertiliser system. *Plant and Soil Science*. 2023. 14(1), 9-21. <https://doi.org/10.31548/plant1.2023.09>
17. Feng H., Han X., Zhu Y., Zhang M., Ji Y., Lu X., ... Zou W. Effects of long-term application of organic materials on soilwater extractable organic matter, fulvic acid, humic acid structure and microbial driving mechanisms. *Plant & Soil*. 2024. 501:323–341. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06522-z>
18. Балюк С. А. Зрошувані чорноземи Лісостепу і Північного Степу України: оцінка стану, охорона і підвищення родючості: автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук : 06.01.03. Харків, 1995. 39 с.
19. Kudeyarova A. Yu. On the Information Capacity of the Electronic Spectra of Humic Substances. *Eurasian Soil Science*. 2021. 34(11). P. 1180-1187.

UDC 631.4:631.67

Effective agronomic practices to optimize humus content and quality in soil**L. I. Vorotyntseva*, R. V. Panarin****National Scientific Center “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky”,
Kharkiv, Ukraine**

* Corresponding author: vorotyntseva_ludmila@ukr.net

Received 7.11.2024, Revised 17.12.2024, Accepted 18.12.2024, Available online 27.12.2024

Abstract

The results of the study of quantitative and qualitative changes in organic matter (humus) of typical chernozem (Haplic Chernozem) irrigated with suitable water under different fertilization systems in vegetable-forage crop rotation within the framework of a field experiment are presented. The content of soil organic carbon is one of the main descriptors of soil health, and plays an important role in ensuring food security, achieving climate neutrality and preventing biodiversity loss. During the conducting the stationary experiment (1967–2024) on the non-fertilized irrigated variant a decrease of the humus content in the arable and subsoil layers of the soil compared to the non-irrigated control with a traditional fertilization system was established. The different fertilization systems — sideral, mineral, organic, organo-mineral and biological under irrigation contributed to the improvement of the carbon balance and the increase of humus content in the arable and subsoil layers of the soil compared to the control without fertilizers. Thus, in the soil of the 0–30 cm layer the increase of humus content in different variants was 6.0–14.7 %, and in the 30–50 cm layer it was 4.4–22.6 %. The application of agronomic practice of optimizing the content of humus through fertilization also affected changes in the quality of organic matter (humus). According to the results of the spectroscopic analysis, the absorption spectra of humic substances of the soil in the different variants of the experiment are represented by a typical sloping line. This indicates the similarity of the structural organization of humic substances. The main changes are observed in the UV range. This is due to aromatic structures and polyphenolic functional groups. The highest content of aromatic structures in preparations of humic substances was found in variants with organo-mineral and mineral fertilization systems and in non-irrigated soil.

Key words: humus; organic matter; irrigation; fertilizer system; absorption spectra; typical chernozem.**Citing:** Vorotyntseva L. I., Panarin R. V. (2024). Effective agronomic practices to optimize humus content and quality in soil. *AgroChemistry and Soil Science*, 97, 43-52 doi: 10.31073/acss97-05 [in Ukrainian]**References**

1. Panagos, P., Broothaerts, N., Ballabio, C., Orgiazzi, A., Rosa, D., Borrelli, P... Jones A. (2024). How the EU Soil Observatory is providing solid science for healthy soils. *European Journal of Soil Science?* 75(3), Article No. e13507. <https://doi.org/10.1111/ejss.13507>
2. Montanarella, L., & Panagos, P. (2021). The relevance of sustainable soil management within the European Green Deal. *Land Use Policy*, 100, 104950. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104950>
3. Handayani, I. P., & Hale, C. (2022). Healthy Soils for Productivity and Sustainable Development in Agriculture. In *1st International Conference on Agriculture, Food, and Environment. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1018 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1018/1/012038>
4. On the approval of the Procedure for conducting land and soil monitoring: resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 07/23/2024, No. 848. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-2024-%D0%BF#Text> [In Ukrainian]
5. Chaplot, V., & Smith, P. (2022). Cropping leads to loss of soil organic matter: How can we prevent it? *Pedosphere*, 33(1), 8-10. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.06.002>
6. Baliuk, S., & Shymel, V. (2024). On the state and tasks of soil organic carbon management. *Bulletin of Agricultural Science*, 102(6), 5-13. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202406-01> [In Ukrainian]

7. Baliuk, S., Nosko, B., & Skrylnyk, Ye. (2016). Modern problems of biological degradation of black earth and ways of preserving their fertility. *Bulletin of Agricultural Science*, 94(1), 11-17. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201601-02> [In Ukrainian]
8. Baliuk, S. A., Medvedev, V. V. (Eds). (2012). Strategy of balanced use, reproduction and management of soil resources of Ukraine. Kyiv: Agrarna nauka. [In Ukrainian].
9. Medvedev, V. V., & Plisko, I. V. (2016). Chernozems as a prerequisite for the sustainable development of Ukraine. *Ukrainian farmer's guide "Ukrainian black earth at the beginning of the third millennium"*, 1, 65-70. [In Ukrainian].
10. Baliuk, S. A., Medvedev, V. V., Solovey, V. B., Vorotyntseva, L. I., & Janse, L. A. (2021). *Ukrainian Chernozem – 140 years after V. V. Dokuchaev: state, evolution and management*. Scientific monograph. Kharkiv. [In Ukrainian].
11. Dehtiarov, V. V., & Shcherbakov, O. Yu. (2023). Humus content in chernozems typical of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine in connection with global climate change. *AgroChemistry and Soil Science*, 95, 60-68. <https://doi.org/10.31073/acss95-06> [In Ukrainian].
12. Rieznik, S. V., & Havva, D. V. (2023). Humus state of deep typical chernozem loam under organic and traditional agriculture. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Agronomy and Biology*, 53(3), 65-69. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.3.9> [In Ukrainian].
13. Revtie-Uvarova, A., Nikonenko, V., Karatsiuba, O., & Slidenko, O. (2020). Parameterization of changes in soil organic carbon content depending on the fertilization system. *Bulletin of Agricultural Science*, 98(11), 16-23. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202011-02>
14. Zhang, N., Chen, X., Wang, J., Dong, H., Han, X., Lu, X., ... Zou, W. (2023). Anthropogenic soil management performs an important role in increasing soil organic carbon content in northeastern China: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 350, 108481. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108481>
15. Bohoussou, Y., Kou, Y.-H., Yu, W.-B., Lin, B., Virk, A., Zhao, X., ... Zhang, H.-L. (2022). Impacts of the components of conservation agriculture on soil organic carbon and total nitrogen storage: A global meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 842, 156822. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156822>
16. Voitovyk, M., Prymak, I., Tsyuk, O., & Melnyk, V. (2023). Qualitative composition of humus and physical and chemical properties of typical chernozem depending on the fertiliser system. *Plant and Soil Science*, 14(1), 9-21. <https://doi.org/10.31548/plant1.2023.09>.
17. Feng, H., Han, X., Zhu, Y., Zhang, M., Ji, Y., Lu, X., ... Zou, W. (2024). Effects of long-term application of organic materials on soilwater extractable organic matter, fulvic acid, humic acid structure and microbial driving mechanisms. *Plant & Soil*, 501, 323–341. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06522-z>
18. Baliuk, S. A. (1995). Irrigated chernozems of the Forest-Steppe and Northern Steppe of Ukraine: assessment of condition, protection and increase of fertility: abstract. diss. ... Dr. Agricultural Sciences : 06.01.03. Kharkiv [In Ukrainian].
19. Kudayarova, A. Yu. (2021). On the Information Capacity of the Electronic Spectra of Humic Substances. *Eurasian Soil Science*, 34(11), 1180-1187.