

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології

Кафедра екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

в.о. зав. кафедри екології

к.с.-г.н., доц. _____ В.В.

Кацевич

« ____ » _____ 2023 р.

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр»

на тему: « Оцінка потенціалу вуглецевого секвестрування у ґрунтах
виноградників на Півночі Іспанії»

Виконала: здобувачка вищої освіти 2 курсу,

групи МГЕ-1-22 спеціальності 101 «Екологія»

_____ Мацюк Валерія Олексіївна

Керівник _____ к.с.-г.н., доц. Зленко Ірина Борисівна

Дніпро-2023

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Факультет водогосподарської інженерії та екології

Кафедра екології

Спеціальність 101 «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

В.о.зав. кафедри екології

к.с.-г.н. _____ В.В. Кацевич

« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу для здобуття освітнього ступеня «Магістр»

здобувачу вищої освіти

Мацюк Валерії Олексіївни

1. Тема проекту (роботи) Оцінка потенціалу вуглецевого секвестрування у ґрунтах виноградників на Півночі Іспанії

керівник роботи: Зленко Ірина Борисівна, к.с.-г.н., доц.

затверджена наказом по ДДАЕУ від «__» _____ 202_ р. № _____.

2. Термін здачі здобувачем вищої освіти закінченої роботи: «__» _____ 202_ р.

3. Вихідні дані до роботи дані про фізичні, хімічні та біохімічні параметри ґрунтів виноградників

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ; 1. Огляд літератури; 2. Матеріали та методи проведення досліджень; 3. Фізико-географічна характеристика території дослідження; 4. Результати досліджень та їх обговорення; 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; Висновки; Список літератури

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Рисунків – 5

Таблиць – 5

Використаної літератури – 84

Розділів – 5

Додаток - 1

Сторінок – 73

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів проекту, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1–5	І. Б. Зленко	03.09.2023	03.09.2023

Дата видачі завдання: « ____ » _____ 20 ____ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

- № пп	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури	03.09.2023 – 02.10.2023	
2	Матеріали та методи досліджень	03.10.2023 – 11.10.2023	
3	Фізико-географічна характеристика території дослідження	12.11.2023 – 30.10.2023	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	01.12.2023 – 02.12.2023	
5	Результати досліджень та їх обговорення	03.12.2023 – 04.12.2023	
6	Висновки	05.12.2023 – 07.12.2023	

Здобувач вищої освіти

Мацюк В. О.

(підпис)

Керівник роботи

Зленко І. Б.

(підпис)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	6
ВСТУП	7
1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	9
1.1. Кругообіг карбону в агроєкосистемах.....	9
1.2. Потенціал агроєкосистем до секвестрування карбону	10
1.3. Вплив вирощування винограду на органічний вуглець у ґрунті.....	11
1.4. Основні стратегії секвестрування карбону на виноградниках	13
1.5. Політика та заходи ЄС і України щодо секвстрації вуглецю	17
2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	21
2.1. Об'єкт та предмет досліджень	21
2.2. Методи досліджень	21
2.2.1. Відбір проб.....	21
2.2.2. Попередня підготовка ґрунтових проб	21
2.2.3. Вологість	22
2.2.4. Гранулометричний склад	22
2.2.5. Об'ємна щільність ґрунту	25
2.2.6. Водотривкі агрегати.....	25
2.2.7. Водневий показник (рН).....	26
2.2.8. Електропровідність ґрунту (ЕС).....	27
2.2.9. Загальний органічний вуглець (ТОС).....	27
2.2.10. Окислюваний органічний вуглець (C_{ox})	28
2.2.11. Активний органічний карбон (РОХС)	29
2.2.12. Потенційне виділення CO_2 з ґрунту.....	30
2.2.13. Легкоекстрагований гломалін (EEG-BRSP).....	31
2.2.14. Загальний гломалін (TG-BRSP).....	32
2.2.15. Вміст карбону в екстракті загального гломаліну	33
2.2.16. Статистична обробка результатів досліджень	34
2.2.17. Геоінформаційні технології	35
3. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ	36

3.1. Місце розташування	36
3.2. Кліматичні умови	36
3.3. Рельєф та ґрунтовий покрив	39
3.4. Система утримання ґрунтів	40
4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	44
4.1. Фізичні властивості	44
4.2. Хімічні властивості	48
4.3. Біохімічні властивості	50
Зплив результатів досліджень на економічні процеси у сфері утрування карбону	53
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	55
ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65
Додаток А. Виноградники м. Асполя, Іспанія	75

РЕФЕРАТ

Дипломна робота складається із вступу, 5 розділів, висновків та списку використаних джерел. Повний обсяг роботи – 73 сторінки друкованого тексту, включаючи 5 рисунків, 5 таблиць та 1 додаток. Перелік використаних джерел містить 84 найменувань.

Зміна клімату є однією з найбільших екологічних проблем сьогодення. Секвестрація вуглецю в ґрунтах є ефективним методом пом'якшення наслідків глобального потепління. Ґрунти виноградників зазнають інтенсивного антропогенного впливу, що призводить до втрати органічної речовини та ерозії. Вивчення шляхів накопичення вуглецю в цих агроєкосистемах є важливим завданням.

Об'єктом цього дослідження було обрано вплив двох систем утримання ґрунтів (традиційної та органічної) на потенціал секвестрування вуглецю у ґрунтах виноградників поблизу міста Асполя, Іспанія.

Предметом досліджень були фізичні, хімічні та біохімічні властивості ґрунту, що можуть змінюватися під впливом традиційного та органічного утримання ґрунтів.

Метою роботи є дослідження впливу двох систем землеробства на фізичні, хімічні та біохімічні властивості ґрунту під виноградниками, з акцентом на їх потенціалі щодо посилення секвестрації вуглецю в ґрунті.

Встановлено вплив системи землеробства на вміст органічного вуглецю в ґрунтах. Органічна система землеробства більш ефективна за традиційну у контексті стимулювання мікробної та грибною активності з метою продукування стабільніших форм вуглецю в ґрунтах виноградників, що сприяє секвестрації вуглецю.

Ключові слова: ОРГАНІЧНИЙ ВУГЛЕЦЬ ҐРУНТУ, СЕКВЕСТРАЦІЯ ВУГЛЕЦЮ, ВИНОГРАДНИКИ, ОРГАНІЧНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО

ВСТУП

Зміна клімату внаслідок підвищення концентрації парникових газів в атмосфері є однією з найбільших загроз для сталого розвитку людства. Антропогенна діяльність, така як інтенсивне сільське господарство та промислова революція, серед іншого, значно сприяли збільшенню концентрації парникових газів в атмосфері, досягаючи критичних значень.

Накопичення органічного вуглецю в ґрунті шляхом секвестрації вуглецю з атмосфери дозволяє частково компенсувати антропогенні викиди та пом'якшити зміну клімату. Господарська діяльність людини, така як обробіток ґрунтів та використання агрохімікатів, тривалий час призводила до втрат органічного вуглецю.

Збіднення органічного вуглецю ґрунту нині є глобальною проблемою, тому перехід від інтенсивного сільського господарства до органічного чи регенеративного, що сприяє секвестрації вуглецю в ґрунті, дуже заохочується. На місцевому рівні чутливість до органічного землеробства зростає, тоді як комерційні підприємства продовжують використовувати величезну кількість мінеральних добрив, які сильно зменшують вміст вуглецю в ґрунті.

Питання динаміки органічного вуглецю у ґрунті та механізмів її оптимізації є об'єктом уваги широкого кола дослідників з усього світу. Сучасні дослідження охоплюють теоретичні аспекти динаміки та балансу карбону в агроєкосистемах та практичний вплив окремих технологій на вміст органічної речовини в ґрунтах різних типів. Це дозволяє отримати ґрунтове наукове підґрунтя для вироблення ефективної стратегії землекористування, що буде забезпечувати сталість екосистем та буде сприяти пом'якшенню клімату.

Агрокліматичні умови Північної Іспанії є сприятливими для вирощування винограду. Проте на сьогодні бракує комплексних досліджень, що характеризували б потенціал ґрунтів виноградників цього регіону до тривалого зберігання органічного вуглецю. Актуальним є пошук шляхів

підвищення родючості ґрунтів та стійкості агроecosистем за рахунок використання сучасних технологій ведення органічного землеробства на виноградниках.

Дослідження проводилося на виноградниках Півночі Іспанії, де застосовуються дві системи землеробства – традиційна та органічна.

Метою цієї магістерської кваліфікаційної роботи є дослідження впливу двох систем землеробства на фізичні, хімічні та біохімічні властивості ґрунту під виноградниками, з акцентом на їх потенціалі щодо посилення секвестрації вуглецю в ґрунті.

Для досягнення вищевказаної мети було поставлено наступні завдання:

- провести відбір ґрунтових зразків на виноградниках поблизу м. Асполя, Іспанія;
- охарактеризувати фізичні, хімічні та біохімічні параметри у ґрунтах виноградників, спираючись на лабораторні дослідження;
- описати вплив системи землеробства на фізичні, хімічні та біохімічні властивості ґрунтів виноградників за допомогою дисперсійного аналізу ANOVA;
- оцінити потенціал ґрунтів виноградників на Півночі Іспанії до секвестрування карбону.

Отримані нові матеріали щодо вмісту форм органічного вуглецю у ґрунті виноградників дозволять удосконалити систему заходів з управління кліматичними ризиками та підвищення стійкості агроecosистем. На їх основі можна розробити практичні рекомендації для господарств щодо оптимального поєднання агротехнічних прийомів з метою максимізації секвестраційного потенціалу ґрунтів.

1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Кругообіг карбону в агроєкосистемах

Циркуляція карбону в агроєкосистемах – важлива комплексна система, що включає в себе джерела, і водночас накопичувачі карбону такі як атмосфера, ґрунти, рослинність та сільськогосподарська продукція. У верхньому метровому шарі ґрунту органічний карбон становить приблизно $1,5 \times 10^{12}$ тон, тоді як карбон в атмосфері – близько 8×10^{11} тон, а наземній рослинності – 5×10^{11} тон [17]. Ці кількості нестатичні, адже карбон постійно курсує між компонентами біосфери у різних молекулярних формах [27].

Розуміння динаміки карбону у агроєкосистемах та механізмів оптимізації здатності поглиначів утримувати вуглець з атмосфери має велике значення для подолання антропогенної зміни клімату [27].

Фотосинтез є одним з головних пускових механізмів кругообігу карбону у природі. Рослини поглинають CO_2 з атмосфери та конвертують його у органічні речовини, наприклад глюкозу, та затримують їх у вигляді рослинної біомаси. Вибір сільськогосподарських культур, підвищення їхньої продуктивності та специфіка агротехніки є важливим фактором інтенсифікації вищевказаних процесів.

Карбон затримується в ґрунті декількома шляхами. Фізично карбон може бути ізольований у ґрунтових макро- та мікроагрегатах та бути недоступним для ґрунтових організмів. Хімічно карбон може адсорбуватися глиною та накопичуватися у вигляді карбонатів, що також робить його недоступним для біоти. Біохімічно карбон синтезується у складні молекулярні сполуки, що важко піддаються мінералізації та біологічному розкладанню [16].

Гломалін є одним з основних компонентів стабільної органічної речовини у ґрунті та утворюється арбоскулярними мікоризними грибами (АМГ) при розкладанні рослинних решток. Гломалін містить від 30 до 40 %

карбону у своїй структурі [66]. Вищий вміст гломаліну сприяє тривалішому збереження вуглецю у ґрунті, запобігаючи його мінералізації та втратам у атмосферу.

Карбон з рослин та ґрунту виділяється шляхом респірації та розкладання органічної речовини. На інтенсивність цих процесів впливає багато екологічних факторів, таких як температура, вологість, вміст органічних речовин та концентрація кисню в ґрунті [16]. З антропогенних факторів, одними з найважливіших є система землеробства.

Найбільш інтенсивно кругообіг карбону та процеси його секвестрації відбуваються у верхніх шарах ґрунту [65; 56], де кількість органічної речовини більша. Нижня частина профілю ґрунту володіє великим потенціалом зберігання стабілізованого карбону, що накопичується шляхом постійного перенесення, іммобілізації розчиненого органічного карбону та його перетворення під впливом діяльності мікроорганізмів [26].

Розуміння та оптимізація кругообігу карбону в агроєкосистемах є ключовим завданням для підтримки сталого сільського господарства та подолання викликів, пов'язаних зі змінами клімату.

1.2. Потенціал агроєкосистем до секвестрування карбону

Землі сільськогосподарського призначення займають понад 40% суходолу планети [48; 55]. У зв'язку з екологічною нестабільністю та стрімкою зміною клімату, важливим аспектом є дослідження потенціалу сільського господарства до зменшення викидів CO₂ та активного секвестрування вуглецю в агроєкосистемах, які можуть відігравати ключову роль у цій сфері.

Агроєкосистеми відіграють важливу роль у глобальному циклі карбону. За оцінками, вони містять від 10% до 30% світових запасів карбону в ґрунтах, а також щорічно фіксують 1–2 млрд тон CO₂ через фотосинтез [55; 41].

Проте, понад 60 % ґрунтів Європи, що перебувають під впливом сільськогосподарського управління, мають незадовільний стан [15].

Для більшості ґрунтів Європи характерною є стрімка інтенсифікація процесів деградації ґрунту: ерозії, ущільнення, зниження вмісту органічної речовини, закислення, хімічного забруднення, зниження біорізноманіття тощо. Неефективне використання земель, виснаження родючості та зміна землекористування призводять до втрат 0,6–1,2 млрд тон вуглецю щорічно [48]. Такі дані свідчать, що агроєкосистеми мають як значний потенціал щодо секвестрування CO₂, так і є джерелом його емісій залежно від способу господарювання. За деякими оцінками [21; 53], прийняття практик регенеративного землеробства на всіх орних землях може зв'язати від 23 до понад 30% щорічних світових викидів CO₂ до 2050 року.

Вміст органічного вуглецю у ґрунті (SOC) є важливим показником його родючості та сталості агроєкосистем [38]. SOC відіграє значну роль у формуванні фізичних, хімічних та біологічних властивостей ґрунтів [30]. Зокрема, SOC сприяє покращенню структури ґрунту, підвищенню його водопроникності та водоутримуючої здатності, а також є джерелом живлення для мікроорганізмів [38].

Основна частина карбону в ґрунтах (до 90%) зосереджена в органічній речовині, продуктах розкладу рослинних та тваринних решток [40; 23]. Тому збереження та накопичення органічної речовини є не тільки запорукою сталої якості ґрунту, а й одним з найбільш ефективних механізмів секвестрації карбону в агроєкосистемах.

1.3. Вплив вирощування винограду на органічний вуглець у ґрунті

Виноградники мають значний потенціал діяти як поглиначі вуглецю, трансформуючи атмосферний CO₂ через рослини у різні форми ґрунтових органічних речовин. Виноградники добре піддаються оптимізації, тому

можуть бути спрямовані на інтенсивне накопичення вуглецю та мінімізації його втрат.

Виноградна лоза є основним резервуаром рослинного вуглецю на виноградниках. Щорічна обрізка утворює велику кількість деревних відходів, що містять вуглець, отриманий з атмосферного CO₂, який фіксується в процесі фотосинтезу [33]. Більшість вуглецю у виноградній лозі міститься під землею в коренях і корневих системах [34].

Ґрунти виноградників також є значними резервуарами вуглецю. Іспанські виноградники в середньому містять близько 130 мг/га ґрунтового органічного вуглецю у верхньому 1 м ґрунту [2]. Надходження вуглецю із залишків покривних культур і обрізків виноградної лози в поєднанні зі зменшенням порушення ґрунту може з часом збільшити вміст органічної речовини у ґрунті. Ряди винограду, як правило, мають вищий вміст органічного карбону, ніж міжряддя, завдяки більшому надходженню органічних речовин [46].

Внесення органічних добрив, отриманих із залишків обрізки або покривних культур, стимулює розвиток ґрунтових мікробних спільнот і може підвищити вміст загального органічного вуглецю. На виноградниках Ріохи обрізки, збережені у вигляді деревної тріски, збільшили вміст ґрунтового органічного карбону на 12% за 4 роки [46]. Внесення компосту та біологічного вугілля аналогічним чином збільшило загальну кількість органічного вуглецю на 8% за 3–4 роки на іспанських виноградниках [2; 34].

Вирощування покривних культур у міжряддях виноградників забезпечує додаткове надходження органічної речовини при скошуванні та мульчуванні. Змішування однорічних і багаторічних видів оптимізує ґрунтовий покрив, виробництво біомаси та надходження вуглецю. Посів багаторічної конюшини збільшив вміст органічного карбону у ґрунті на 10% на винограднику в Каталонії впродовж 6 років [2].

Зменшення порушення ґрунту за допомогою регенеративного землеробства, таких як нульовий обробіток ґрунту, смуговий обробіток

грунту та контрольований рух агротехніки та транспорту, оптимізує утримання вуглецю в ґрунті. Довготривалий нульовий обробіток ґрунту на богарних виноградниках збільшив вміст SOC на 41% у виноградниках Ла-Манчі [34]. Мінімізація руху сільськогосподарської техніки постійними смугами обмежує ущільнення ґрунту в виноградних рядах.

Інтеграція деревної рослинності (кущів та дерев) у виноградники урізноманітнює органічні ресурси під землею та над землею. Інтегрований тополевий виноградник у центральній Іспанії поглинає 3,3 млн мг С/га·рік, що вдвічі більше, ніж звичайний виноградник [3]. Таким чином, агролісомеліоративні виноградники оптимізують багатовимірні резервуари вуглецю краще, ніж просто виноградники.

Необхідно більше даних про кількісні зміни динаміки карбону у ґрунтах виноградників в умовах мінливого клімату та умов господарювання. Зокрема, лише кілька досліджень вивчали взаємодію різних методів управління протягом 5+ років на іспанських виноградниках.

Комплексні імітаційні моделі, що інтегрують дані про ґрунт, рослини, тваринництво та фізико-географічні умови, можуть надати цінні прогнози для оптимізації поглинання вуглецю за різних сценаріїв [3]. Розширення досліджень щодо ефективності обраних стратегій землекористування та оцінок життєвого циклу вуглецю також сприятиме кращому розумінню динаміки вуглецю на виноградниках.

1.4. Основні стратегії секвестрування карбону на виноградниках

Існує цілий ряд стратегій оптимізації використання сільськогосподарських угідь для підвищення їх потенціалу з накопичення атмосферного вуглецю:

- збільшення вмісту органічної речовини в ґрунті;
- мінімізація обробітку ґрунту;
- забезпечення постійного рослинного покриву полів;

– відновлення деградованих ґрунтів тощо.

SOC є ключовим чинником, що визначає потенціал ґрунту щодо секвестрування вуглецю [37; 70]. Збагачення ґрунтів органікою дозволяє активізувати мікробну діяльність та стимулювати утворення стабільних форм SOC [37]. Накопичення стабільних фракцій SOC є основною стратегією оптимізації агроєкосистем для секвестрування CO₂.

Рослинні рештки є основним джерелом поповнення запасів органіки в агроєкосистемах. Вирощування густонасаджених сільськогосподарських культур, здатних формувати значну наземну і кореневу біомасу (багаторічні трави, наприклад) сприяє накопиченню більших обсягів органічної речовини в ґрунті, що покращує його структуру та родючість.

Постійний рослинний покрив перешкоджає ерозії ґрунту та забезпечує безперервне надходження органічної речовини у вигляді корневих виділень і відмерлих частин рослин [54]. Системи змішаних посівів, покривних культур та багаторічних трав сприяють накопиченню стабільних форм гумусу та довготривалому збереженню вуглецю в ґрунті.

Згідно досліджень [28], посилення росту коренів сільськогосподарських культур дозволяє урівняти очікувану кількість антропогенних викидів та кількість карбону в ґрунті протягом наступних двох десятиліть.

Вирощування покривних та сидеральних культур підтримує безперервне надходження негуміфікованої органіки в період між основними культурами та стимулює активність ґрунтової мікробіоти [52]. Інше дослідження [62] встановило, що приорювання суміші сидератів (гірчиці білої та олійної редьки) сприяло накопиченню на 36% більше SOC порівняно з контролем без сидератів.

Внесення якісних органічних добрив поліпшує структуру ґрунту, поглинає CO₂ та сприяє росту мікроорганізмів [9]. Органічні добрива, зокрема гній, компости та сидерати, є цінним джерелом органічної речовини та сприяють накопиченню SOC у виноградниках [8]. Дослідження у

виноградниках Італії [49] показало підвищення вмісту SOC на 24%, 31% та 49% відповідно при внесенні 10, 20 та 40 т/га компосту на рік.

Ефективним є застосування біопрепаратів для стимулювання мікробіологічної трансформації органіки в стійкі гумусові речовини та підвищення біологічної активності ґрунтів [1].

Традиційний обробіток ґрунту (оранка) призводить до зменшення вмісту органічної речовини внаслідок активізації процесів мінералізації [11]. Технології мінімального, нульового та поверхневого обробітку дозволяють зберегти цілісність ґрунту, уповільнити розклад органіки та сприяти накопиченню гумусу [72]. Водночас інше дослідження [18] у виноградниках Південної Африки показало лише незначне підвищення вмісту SOC (на 4-12%) при використанні покривних культур і сидератів порівняно з чистою обробкою міжрядь. Отже, потенціал безполицевих технологій для накопичення SOC може суттєво залежати від кліматичних та ґрунтових умов.

Для запобігання втрат SOC важливим є поєднання внесення органічних добрив з безполицевим обробітком ґрунту. Паралельне впровадження технологій збереження власної органіки (мінімальний обробіток, посів покривних культур тощо) також може бути важливим для оптимального секвестрування вуглецю [4]. Таким чином, варіативність джерел негуміфікованої органіки, придатної для акумуляції в ґрунтах, дозволяє вибирати оптимальні шляхи збагачення різних типів ґрунтів гумусом для тривалого секвестрування CO₂.

Дослідження [19] простежувало вплив трьох різних систем обробітку ґрунту (нульовий обробіток, обробіток міжрядь та суцільний обробіток) на вміст органічного вуглецю в ґрунті протягом 9 років в одному з виноградників Іспанії. Було виявлено, що нульовий обробіток сприяв помірному накопиченню органічного карбону порівняно з іншими методами.

Ще одне дослідження [45] оцінювало комбінований вплив обробітку міжрядь, внесення компосту та сидератів протягом 8 років у винограднику на

півночі Італії. Було показано позитивний вплив цих заходів на вміст органічної речовини у ґрунті.

Довготривалі спостереження [42] виявили вплив трьох систем обробітку ґрунту (трав'яне покриття, обробіток міжрядь та хімічний обробіток) на властивості ґрунту протягом 30 років у Франції. Було показано, що трав'яне покриття сприяє підвищенню вмісту гумусу та загального азоту порівняно з іншими варіантами.

Подібні дослідження були проведені у Німеччині. Протягом 16 років науковці [63] вивчали комплексний вплив систем обробітку ґрунту, удобрення та зрошення у винограднику в Німеччині. Також спостерігався позитивний ефект щодо вмісту органічного вуглецю при використанні трав'яного покриття.

В Україні бракує багаторічних комплексних досліджень з вивчення впливу різних агротехнічних прийомів на властивості ґрунтів у виноградниках. Наявні лише поодинокі короткострокові дослідження окремих агрозаходів. Наприклад, роботи з вивчення ефективності різних систем удобрення виноградників [73; 83]. Є дані з впливу окремих способів обробітку ґрунту, зокрема показана перевага нульового обробітку для запобігання ерозії та втрати поживних речовини [81].

Деградація та ерозія ґрунтів втрачає 0,3–0,5 млрд тон вуглецю щорічно [31]. Вапнування кислих ґрунтів, внесення органічних та мінеральних добрив на деградованих землях, фіторе mediaція забруднень можуть суттєво покращити фізичні властивості та біологічну активність пошкоджених ґрунтів [70]. Це дозволить відновити їх потенціал щодо секвестрування та накопичення вуглецю.

Реалізація стратегій збагачення ґрунтів вуглецем потребує врахування також різних природних факторів, що можуть знизити потенціал конкретної агроєкосистеми до захоплення та збереження карбону у ґрунті.

Кліматичні умови суттєво впливають на потенціал секвестрування карбону. За прохолоднішого та вологішого клімату гумус нагромаджується

швидше [37], тоді як посушливих регіонах швидкість накопичення органічної речовини у ґрунті є нижчою [39].

Ґрунтові характеристики визначають максимальний потенціал збереження гумусу та стабільних органічних сполук на тривалий час [22]. Успішне впровадження практик накопичення гумусу в агроєкосистемах значною мірою залежить від кількісних та якісних характеристик внесених органічних матеріалів: співвідношення C:N, наявність необхідних елементів для живлення мікроорганізмів та інтенсивності процесу гуміфікації [44].

Окрім вищевказаного, важливим є врахування соціо-економічних бар'єрів впровадження вищевказаних стратегій, позаяк вони потребують додаткових затрат та ресурсів [50]. Додаткові витрати на органіку, техніку та обладнання для регенеративного землеробства можуть стримувати зацікавленість фермерів, незважаючи на перспективу підвищення родючості ґрунтів [57]. Тому важливою є політика стимулювання регенеративних практик.

Отже, для реалізації повного потенціалу агроєкосистем щодо секвестрування CO₂ потрібен комплексний системний підхід на основі наукового розуміння вуглецевої динаміки в агроландшафтах за умови економічної та політичної підтримки.

1.5. Політика та заходи ЄС і України щодо секвестрації вуглецю

В умовах глобальної кліматичної кризи зростає увага до потенціалу агроєкосистем щодо секвестрації атмосферного CO₂. Оптимізація використання сільськогосподарських земель може суттєво компенсувати антропогенні викиди парникових газів. Як Європейський Союз, так і Україна розглядають секвестрацію карбону ґрунтами як важливий елемент кліматичної політики.

Європейський Союз поставив амбітну мету досягти нульового рівня викидів до 2050 року в рамках Європейського Зеленого Курсу (The European

Green Deal). Секвестрація карбону агроекосистемами розглядається як один з ключових інструментів для компенсації залишкових викидів в атмосферу.

Стратегічний план ЄС щодо Спільної аграрної політики (САП) на 2023–2027 роки містить окремий екосхематичний регламент, який передбачає надання прямих виплат фермерам за застосування практик, що сприяють скороченню викидів парникових газів та секвестрації вуглецю [13]. Зокрема, серед таких практик виділено:

- внесення органічних добрив та компостів;
- вирощування сидеральних та покривних культур;
- застосування технологій консервуючого землеробства;
- відновлення виснажених земель;
- агролісомеліорація та агролісівництво.

Також країни-члени ЄС зобов'язані виділити мінімум 35% бюджету САП на заходи, пов'язані з досягненням екологічних цілей, серед яких – секвестрація вуглецю [14].

Стратегія ЄС «Від ферми до столу» (Farm to Fork Strategy) також спрямована на трансформацію агропродовольчої системи Євросоюзу в бік сталості, зокрема шляхом скорочення використання добрив та пестицидів і розширенню органічного землеробства [15]. Отже, на рівні ключових стратегічних документів ЄС чітко задекларовано необхідність стимулювання секвестрації вуглецю аграрним сектором як частини зусиль з декарбонізації економіки.

На практичному рівні реалізації зазначених стратегій ЄС здійснює цілеспрямовані кроки щодо стимулювання секвестрації карбону агроекосистемами:

- фінансова підтримка заходів в рамках САП, зокрема 5 млрд євро на рік виділено саме на екосхеми, пов'язані з секвестрацією вуглецю та скороченням викидів в атмосферу [13];

- консультаційна підтримка фермерів щодо впровадження практик регенеративного землеробства через Європейську мережу дорадчої служби з питань сільського господарства [15];

- підтримка наукових досліджень у сфері розробки та удосконалення технологій секвестрації вуглецю агроекосистемами, зокрема в рамках програми Горизонт Європа (Horizon Europe Work Programme);

- розвиток системи моніторингу та звітності щодо балансу викидів і поглинання парникових газів аграрним сектором країн-учасниць [14].

Таким чином, ЄС послідовно реалізує комплексний підхід, що поєднує стимули та регуляторні механізми для масштабування практик секвестрації CO₂ агроекосистемами.

В Україні питання секвестрації карбону в агроекосистемах поки що комплексно не відображено в ключових стратегічних документах. Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року лише побічно згадує цей напрям в контексті адаптації сільського господарства [79].

Втім, у 2021 році було ухвалено низку законодавчих ініціатив, що створюють передумови для розвитку політики секвестрації карбону аграрним сектором:

- Закон «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів», який дозволяє враховувати обсяги секвестрованого CO₂ як складову національного вуглецевого бюджету [74];

- Прийняття Концепції розвитку фермерських господарств та сільськогосподарської кооперації, яка передбачає підтримку впровадження систем землеробства, спрямованих на накопичення органічної речовини в ґрунті [80];

- Започаткування програми компенсації фермерам частини витрат на придбання техніки для технології ведення землеробства зі збільшенням

консервації CO₂ – однієї з базових технологій накопичення вуглецю в ґрунті [84].

Отже, незважаючи на фрагментарний характер, в Україні з'являються перші інструменти стимулювання секвестрації карбону аграрним сектором. Проте їх масштаб поки що досить обмежений і потребує розширення.

Порівнюючи підходи ЄС та України до стимулювання секвестрації вуглецю аграрним сектором можна зазначити наступне:

1. У ЄС це питання комплексно відображено в ключових стратегічних документах як складова загальної політики декарбонізації та адаптації до зміни клімату. В Україні поки що немає цілісного стратегічного бачення ролі агросфери у вуглецевому балансі.

2. ЄС використовує широкий спектр інструментів – від прямої фінансової підтримки до консультування та наукових досліджень для впровадження практик накопичення вуглецю в ґрунтах. В Україні наразі доступні лише окремі фінансові стимули обмеженого масштабу.

3. Водночас, останні законодавчі ініціативи та програми в Україні закладають підґрунтя для розгортання цілеспрямованої політики у цій сфері. Подальше нарощування масштабів та інструментарію такої політики сприятиме наближенню України до європейських підходів регулювання вуглецевого балансу.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Об'єкт та предмет досліджень

Об'єктом цього дослідження було обрано вплив двох систем утримання ґрунтів (традиційної та органічної) на потенціал секвестрування вуглецю у ґрунтах виноградників поблизу міста Асполя, провінція Жирона, автономна область Каталонія, Іспанія.

Предметом досліджень стали фізичні, хімічні та біохімічні властивості ґрунту, що можуть змінюватися під впливом традиційного та органічного утримання ґрунтів. Фізичні характеристики, що включають гранулометричний склад, об'ємну щільність та водотривкі агрегати, хімічні – рН, електропровідність, та біохімічні – вміст органічної речовини та різних карбонових сполук були досліджені. Спираючись на отримані результати, було проведено порівняльну оцінку та дисперсійний аналіз основних параметрів ґрунтів виноградників з різною системою землеробства.

2.2. Методи досліджень

2.2.1. Відбір проб

Відбір ґрунтових проб проводився на глибині 0–20 см за допомогою ручного шнека (Eijkelkamp, Нідерланди) [25]. Проби ґрунту були відібрані з 20 пробних полів виноградників поблизу міста Асполя, 10 з яких були під впливом традиційного землеробства, інші 10 – органічного.

2.2.2. Попередня підготовка ґрунтових проб

В лабораторії проби ґрунту було розміщено на папері тонким рівномірним шаром, великі грудки були обережно подрібнені. Протягом двох тижнів проби висушувалися при кімнатній температурі.

Після цього було відібрано середню пробу (методом конверта) масою \geq 1 кг, видалено рослинні рештки та просіяно через сито з діаметром вічок 2 мм [25].

2.2.3. Вологість

Зразки повітряно-сухого ґрунту, просіяного через сито з діаметром вічок 2 мм, було зважено з точністю до 0,01 г і висушено при температурі 105°C до постійної ваги. Ємності з ґрунтовою наважкою після сушки було охолоджені в ексікаторі та зважені.

Вологість ґрунту розраховують у відсотках на сухий ґрунт за допомогою формули (1):

$$W = \frac{A-B}{B} \times 100, \quad (1)$$

де W – вологість повітряно-сухого ґрунту, %;

A – вага повітряно-сухого ґрунту, г;

B – вага абсолютно сухого ґрунту, г.

2.2.4. Гранулометричний склад

Гранулометричний склад ґрунту визначає багато важливих агрономічних характеристик: водний, повітряний та тепловий режими, запас поживних речовин та ефективність внесення добрив. Фізичні властивості ґрунту, такі як агрегованість, щільність, пористість, вологоємність, також залежать від гранулометричного складу.

Вміст фракції ґрунту понад 2 мм, або каменистість, було визначено шляхом зважування та розрахунку за формулою (2):

$$CE (\%) = \frac{m(\text{фракція } > 2 \text{ мм})}{m(\text{ґрунт, г})} \times 100, \quad (2)$$

де CE – вміст грубих елементів, %;

m – маса фракції та ґрунту, г.

Принцип визначення вмісту елементарних гранулометричних елементів в ґрунті полягає в розділенні мікроагрегатів, раніше скріплених карбонатами, органічними та мінеральними сполуками. Розділені ґрунтові елементи осідають під дією сили тяжіння і, відповідно, мають різну швидкість осідання залежно від радіусу та щільності рідини, через яку вони проходять.

За даними Міжнародного союзу ґрунтознавства (IUSS) існує чотири класи гранулометричних елементів:

- грубий пісок (2000–200 мкм);
- дрібний пісок (200–20 мкм);
- мул (20–2 мкм);
- глина (< 2 мкм).

20 г повітряно-сухого ґрунту поміщають в склянку об'ємом 1 л, додають 15–20 мл дистильованої води та 25 мл 30 %-го розчину перекису водню (H_2O_2) і нагрівають до $80^\circ C$ для руйнування органічних речовин шляхом окислення. Потім зразки обережно змивають у пластикові бутілі та додають 15 мл 5 %-го розчину гексафосфату натрію $Na(PO_3)_6$, щільно закривають та струшують протягом ночі на ротаційному шейкері для дисперсії. Суспензію переносять у літровий циліндр через сито з вічками діаметром 0,2 мм. Зібрані елементи на ситі є грубим піском (2000–200 мкм), його промивають над циліндром, висушують та зважують на вагах з точністю до 0,01 г.

Суспензію в циліндрі доводять до 1 л та визначають вміст мулу (0,02–0,002 мкм) та глини (< 0,002 мкм) методом піпетки (ISRIC, 2002).

Для визначення ваги мулу та глини (<0,02 мкм) вміст циліндра ретельно перемішували, після відстоювання протягом 4 хв 48 с відбирали 25 мл суспензії з глибини 10 см за допомогою піпетки Робінсона. Відібрану

суспензію перенесли в алюмінієву ємність, висушили при 105°C у сушильній шафі та зважили на вагах з точністю до 0,0001 г.

Для визначення ваги глини вміст циліндра знову перемішали, після відстоювання протягом 8 годин з глибини 10 см піпеткою Робінсона відібрали 25 мл суспензії та перенесли в алюмінієві ємності, висушили при 105°C у сушильній шафі та зважили на вагах з точністю до 0,0001 г.

Вміст гранулометричних фракцій у ґрунті розраховується за допомогою наступних формул (3–7):

$$CS = \frac{m(\text{фракція } >0,2 \text{ мм})}{m(\text{ґрунт})} \times 100, \quad (3)$$

$$C = \frac{m(\text{фракція } <0,002 \text{ мм})}{m(\text{ґрунт})} \times \frac{975}{25} \times 100, \quad (4)$$

$$S (\%) = \left(\frac{m(\text{фракція } 0,2 \text{ мм} - <0,002 \text{ мм})}{m(\text{ґрунт})} \times \frac{1000}{25} \times 100 \right) - C, \quad (5)$$

$$FS = 100 - (CS + S + C), \quad (6)$$

$$TS = CS + FS, \quad (7)$$

де CS – вміст грубого піску, %;

m – маса фракцій та ґрунту, г;

C – вміст глини, %;

975 – об'єм суспензії в циліндрі при відборі фракції глини піпеткою, мл;

25 – об'єм суспензії, відібраної піпеткою, мл;

S – вміст мулу, %;

1000 – об'єм суспензії в циліндрі при відборі фракцій мулу та глини, мл;

FS – вміст дрібного піску, %;

TS – загальний вміст піску, %.

2.2.5. Об'ємна щільність ґрунту

Для визначення об'ємної щільності ґрунту нержавіючий циліндр 5x5 см вводиться в ґрунт з поверхні на необхідну глибину. Потім зразок виймають, надлишок ґрунту вирівнюють з обох боків і зважують. Розрахувавши об'єм циліндра визначається об'ємна щільність ґрунту (г/см^3) з розрахунку на абсолютно сухий ґрунт.

2.2.6. Водотривкі агрегати

Стійкість агрегатів є мірою опору структури ґрунту до руйнівної сили води. Структура ґрунту визначається розташуванням первинних мінеральних та органічних частинок. На агрегатну стабільність впливають структура ґрунту, вміст глинистої фракції, вміст і тип органічної речовини, цементуючі агенти, система землеробства тощо.

Маса агрегованого ґрунту, що залишилася після вологого просіювання у відсотках від загальної маси наважки ґрунту, представляє собою водотривкі агрегати. Вимірювання водотривких агрегатів здійснювалося за методом Кемпера та Розенау [29].

Вологе просіювання було виконано на апараті mod.08.13. (Eijhkelkamp Agriresearch equipment, Нідерланди). Для цього фракції ґрунтових агрегатів діаметром 2-5,6 мм та 0,25-2 мм (аліквота 5 г) були поміщені на сита апарату (з діаметром вічка >2 мм та $>0,25$ мм) і протягом трьох хвилин занурювалися у воду низхідними та висхідними рухами площини апарату. Загальна кількість циклів занурення та спливання становила 60 разів. Після завершення процедури сита з вцілілими агрегатами були висушені у сушильній шафі при 105°C до постійної маси та зважені.

Для розрахунку водотривких агрегатів була використана формула (8):

$$WSA = \frac{M(a+s) - M_s}{M_t - M_s} \times 100, \quad (8)$$

де WSA – вміст водотривких агрегатів, %;

$M(a+s)$ – маса водотривких агрегатів плюс пісок, г;

M_s – маса піску, г;

M_t – загальна маса агрегатів до вологого просіювання, г.

Через особливості гранулометричного складу досліджуваних ґрунтів, зокрема високий вміст грубих елементів, було модифіковано методикку розрахунку відсоткового значення водотривких агрегатів діаметром від 2 до 5,6 мм. Стандартна методика вологого просіювання була доповнена процедурою та промивання грубих елементів від піску та водотривких агрегатів після першого висушування. Грубі елементи, що залишились у ситі, висушуються до постійної маси та зважуються. Шляхом розрахунку визначається відсотковий вміст грубих елементів у конкретному зразку. Тобто, окрім відсоткового вмісту піску у ґрунті, також враховується відсотковий вміст грубих елементів, що дає можливість більш точно визначити вміст водотривких агрегатів.

2.2.7. Водневий показник (рН)

Рівень рН ґрунту безпосередньо впливає на доступність поживних речовин і мікробну активність, впливаючи на такі процеси, як кругообіг поживних речовин, розкладання органічної речовини та фіксація азоту, а також на розчинність токсичних елементів.

Для вимірювання різниці потенціалів використовується рН-метр (Crison micro рН 2001), який вимірює різницю потенціалів між водневим (скляним) електродом і електродом порівняння (каломельним), який перетворює показання в значення рН.

Суміш повітряно-сухого просіяного ґрунту (0–2 мм) і дистильованої води (1:2,5) перемішували протягом 30 хв.

Перед початком вимірювання прилад відкалібрували буферними розчинами з рН 4,00 і 7,00. Електрод занурюють у ґрунтовий розчин зразків і вимірюють рН, результати записують [25].

2.2.8. Електропровідність ґрунту (ЕС)

Для оцінки рівня засолення ґрунту та зв'язку між загальною кількістю розчинених солей у водній ґрунтовій витяжці та здатністю ґрунту проводити електрику, вимірюють електропровідність. Для вимірювань використовувався кондуктометр (CON510). Суміш висушеного на повітрі просіяного ґрунту (0–2 мм) і дистильованої води (1:5) перемішували протягом 30 хвилин. Перед початком вимірювання проводили калібрування приладу за стандартними розчинами з показниками електропровідності 147 мкS/см, 1413 мкS/см, 12880 мкS/см. Потім поміщали електрод у ґрунтовий розчин, реєстрували значення і результат виражали в dS/m [25].

2.2.9. Загальний органічний вуглець (ТОС)

За допомогою визначення загального органічного вуглецю [25] можна оцінити загальну кількість органічної речовини ґрунту через відсоток вмісту мінеральної золи, що утворюється при спалюванні певної кількості ґрунту. Метод передбачає висушування зразка ґрунту протягом ночі при 110°C, потім переміщення його в холодну муфельну піч, підвищення температури до 400°C і нагрівання зразка протягом 16 годин. Відношення ваги зразка (400°C/110°C) і є відсотковим вмістом мінералів.

Загальний органічний вуглець розраховується за формулою (11):

$$ТОС = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100, \quad (11)$$

де $ТОС$ – загальний органічний вуглець, %;

m_1 – початкова маса ґрунту, г;

m_2 – маса сухого ґрунту, г.

2.2.10. Окислюваний органічний вуглець (C_{ox})

Окислюваний вуглець, як основа ґрунтового гумусу, має вирішальне значення для підтримки родючості ґрунту та його стійкості до подальших факторів деградації, що впливають на ґрунт. В процесі мінералізації окислюваного вуглецю вивільняються поживні речовини, що доступні для мікроорганізмів та рослин.

Визначення окислюваного органічного вуглецю (C_{ox}) проводився методом мокрого окислення [25]. 1 г зваженого ґрунту поміщають у колбу Ерленмейєра на 250 мл, додають 10 мл 1 Н дихромату калію і 10 мл 96% концентрованої сірчаної кислоти. Через 30 хвилин додають дистильовану воду для зупинки реакції і додають 10 мл 85% фосфатної кислоти. Таким же способом готують контрольний зразок (без додавання ґрунту). Титрування отриманого розчину проводять за 0,5 Н розчином солі Мора, використовуючи дифеніламін. Індикатор змінює колір розчину з помаранчево-вишневого до зеленого через фіолетовий.

Для розрахунку окислюваного органічного вуглецю використовують наступну формулу (9):

$$C_{ox} = \frac{(V_1 - V_2) \times 0,04 \times 3}{m}, \quad (9)$$

де C_{ox} – окислюваний органічний вуглець, %;

V_1 – об'єм розчину солі Мора, використаний для титрування контрольного зразка (мл);

V_2 – об'єм розчину солі Мора, використаний для титрування зразка (мл);

0,04 – концентрація розчину солі Мора, моль/л;

3 – коефіцієнт перерахунку карбону при окисленні 1 моль дихромату калію, що перетворюється на іони Cr^{6+} і Cr^{3+} ;

m – маса ґрунту, г.

2.2.11. Активний органічний карбон (POXC)

Відношення активного вуглецю до органічного вуглецю у ґрунті (індекс активного вуглецю) є важливим показником якості ґрунту [24; 5].

Перманганат калію (KMnO_4) використовується як окислювач органічної речовини, присутньої в ґрунті [6]. 2,5 г ґрунту змішували з 2 мл 0,02 N розчину перманганату калію та 18 мл дистильованої води, перемішували 10 хв і відстоювали 10 хвилин. 0,5 мл надосадової рідини з кожного зразка ґрунту відбирали і розбавляли дистильованою водою до 50 мл. Калібрувальні розчини з концентраціями перманганату калію 0 М, 0,005 М, 0,01 М, 0,015 М, та 0,02 М.

Калібрувальні розчини та розчини ґрунтових зразків аналізували на спектрофотометрі (Shimadzu UV-160A) при $\lambda = 550$ нм.

Отримали калібрувальну криву: $y=21,28x+0,0004$, $R^2=0,9991$, де y – поглинання, а x – концентрація.

Знебарвлення рожевого кольору KMnO_4 (зменшення поглинання) пропорційне кількості окислюваного вуглецю в ґрунті, тобто, чим більша втрата кольору KMnO_4 (чим нижчий показник поглинання), тим більша кількість окислюваного вуглецю в ґрунті (тим менше значення абсорбції) [67].

Розрахунок проводився за формулою (10):

$$POXC = [0,02 - (a + b \times Abs)] \times 9000 \times (0,02/Wt), \quad (10)$$

де $POXC$ – концентрація активного карбону у ґрунті, мг/г;

0,02 – початкова концентрація розчину, моль/л;

a – перехоплення стандартної кривої;

b – нахил стандартної кривої;

Abs – поглинання невідомого розчину;

9000 – кількість вуглецю, що окислюється 1 моль MnO_4 перетворюючись з Mn^{7+} на Mn^{2+} , мг С/моль;

0,02 – об'єм основного розчину, що прореагував;

Wt – маса повітряно-сухого ґрунту, г.

2.2.12. Потенційне виділення CO_2 з ґрунту

У керамічній чашці зважують 15 г висушеного в духовці натронного вапна. Скляну банку заповнюють 100 г зразка ґрунту. За допомогою бюретки вносять 15 мл дистильованої води додають у банку крапля за краплею, щоб запобігти флокуляції. Після цього в банку поміщають керамічну чашку з натронним вапном поміщають в банку і закривають її. Потім банку ставлять термостат ($30^\circ C$) на 10 днів. Мікроорганізми в ґрунті почнуть виділяти CO_2 , який потім поглинається кальцинованим вапном. Після цього керамічну чашку виймають з банки і поміщають в сушильну шафу на 5 годин при $105^\circ C$. Після охолодження керамічну чашку знову зважують.

Кількість поглинутого CO_2 можна розрахувати за формулою (15):

$$CO_2 = \frac{m_1 - m_2 \times 1,69}{m \times 10} \times 1000, \quad (15)$$

де CO_2 – потенційне дихання ґрунту, мг/г x день;

m_1 – маса кальцинованого вапна після 10 днів, г;

m_2 – маса натронного вапна 10 днів, г;

1,69 – коефіцієнт, на який потрібно помножити приріст маси, оскільки співвідношення поглиненого CO_2 і натронного вапна становить 2:3;

m – маса ґрунту, г;

10 – кількість днів;

1000 – коефіцієнт переведення одиниць вимірювання, мг/г.

2.2.13. Легкоекстрагований гломалін (EEG-BRSP)

Гломалін – це складна вуглецева сполука, глікопротеїн, що виробляється арбускулярними мікоризними грибами. Вміст гломаліну у ґрунті є показником активності АМГ, які впливають на поглинання поживних речовин, агрегацію ґрунту та секвестрацію вуглецю, що в кінцевому підсумку впливає на родючість ґрунту та стійкість екосистеми.

Метод екстракції легкоекстрагованого гломаліну (EE-GRSP) має на меті вилучення свіжих форм гломаліну, що виділяються ґрунтовими грибами і характеризуються нижчими агрегаційними властивостями.

Метод передбачає додавання 8 мл 20 мМ розчину цитрату натрію до 1 г повітряно-сухого просіяного ґрунту в поліетиленовій пробірці, струшування на вортексі та автоклавування при 121°C протягом 30 хвилин. Після охолодження зразок центрифугують, а супернатант, що містить гломалін, зберігають у пробірках з гвинтовою кришкою при 4°C. При цьому всі, або переважна більшість білків, руйнуються під час жорсткої процедури екстракції, за винятком гломаліну.

Для вимірювання концентрації гломаліну використовують реактив Бредфорда, приготований шляхом розчинення 100 мг кумасі блакитного G-250 у 50 мл 95 % етанолу з додаванням 100 мл 85 % фосфорної кислоти та розведенням отриманої суміші дистильованою водою до 1 л. Для вимірювання отриманий розчин розводять водою у пропорції 1:4.

Перед вимірюванням було приготовано серію стандартних розчинів білка (bovine serum albumin) концентрацій 0 мг/мл, 25 мг/мл, 50 мг/мл, 100 мг/мл, 200 мг/мл [71].

Для аналізування на спектрофотометрі (Shimadzu UV-160A) у пробірці було поміщено 0,2 мл стандартних розчинів і ґрунтових зразків з додаванням 4 мл реактиву Бредфорда. Після вимірювання кожного стандарту при 595 нм було побудовано калібрувальний графік.

Отримано калібрувальну криву: $y=0,0023x+0,0124$, де y – поглинання, x – концентрація, $R^2=0,9839$.

Розрахунок концентрації легкоекстрагованого гломаліну у ґрунті провели за формулою (12):

$$EEG - BRSP = \frac{A-b}{a} \times \frac{V}{m} \times 1000, \quad (12)$$

де $EEG-BRSP$ – концентрація легкоекстрагованого гломаліну у ґрунті, мг/г;

A – абсорбційна проба;

b – перехоплення стандартної кривої;

a – нахил стандартної кривої;

V – об'єм супернатанту, мл;

m – маса зразка ґрунту, г;

1000 – коефіцієнт переведення одиниць вимірювання, мкг/мг.

2.2.14. Загальний гломалін (TG-BRSP)

Вимірювання загального вмісту гломаліну забезпечує комплексну оцінку активності АМГ, його важливого внеску в стабільність структури ґрунту, дозволяючи зберігати органічний вуглець у ґрунтових мікроділянках, сприяючи циркуляції води і поживних речовин по системі порового простору.

Екстракція загального гломаліну включає кілька циклів екстракції з використанням більш високої концентрації цитрату натрію (50 мМ) для отримання більш стабільних форм гломаліну. Відомо, що зістарений гломалін має вищу адгезію між частинками, утворюючи більш стабільні ґрунтові агрегати.

Процедура включає додавання 8 мл 50 мМ дигідрату цитрату натрію до 1 г повітряно-сухого ґрунту в поліпропіленових пробірках, перемішування за допомогою вортексу для гомогенізації ґрунтової суспензії, автоклавування при 121°C протягом 60 хв, центрифугування та збір супернатанту. Ґрунтовий осад знову суспендують і повторюють останні два етапи, доки супернатант не

набуде світло жовтого або прозорого кольору. Для отримання всієї кількості гломаліну потрібно щонайменше 3 екстракції. Для завершення реакції додають реактив Бредфорда і вимірюють супернатант на спектрофотометрі (Shimadzu UV-160A) при $\lambda = 595$ нм.

Отримано калібрувальну криву: $y=0,0023x+0,0078$, $R^2=0,9942$, де y - поглинання, а x - концентрація. Розрахунок зроблено за формулою (13):

$$TG - BRSP = \frac{A-b}{a} \times \frac{V}{m} \times 1000, \quad (13)$$

де $TG-BRSP$ – концентрація загального гломаліну у ґрунті, мг/г;

A – абсорбційна проба;

b – перехоплення стандартної кривої;

a – нахил стандартної кривої;

V – об'єм супернатанту, мл;

m – маса зразка ґрунту, г;

1000 – коефіцієнт переведення одиниць вимірювання, мкг/мг.

2.2.15. Вміст карбону в екстракті загального гломаліну

Вимірювання вмісту вуглецю в екстракті гломаліну допомагає оцінити роль АМГ у зв'язуванні вуглецю, кругообігу поживних речовин і динаміці органічної речовини, які мають вирішальне значення для родючості ґрунту та пом'якшення наслідків зміни клімату. Для визначення вмісту вуглецю в екстракті гломаліну використовували метод визначення розчиненого органічного вуглецю (DOC). Для цього у пробірки додають 4 мл екстракту гломаліну, 2 мл 66,7 мМ дихромату калію ($K_2Cr_2O_7$) і 7 мл суміші сірчаної та ортофосфорної кислоти у співвідношенні 2:1. Також є два контрольних зразка (без екстракту). Всі пробірки поміщають на теплу водяну баню ($60^\circ C$) на 30 хвилин, за винятком однієї пробірки, яка залишиться при кімнатній температурі. Через 30 хвилин вміст пробірок переносять у колби Ерленмейера, ретельно змиваючи вміст пробірок у колби. Вміст колби

Ерленмейера титрують 0,04 М розчином солі Мора за присутності фероїну ($[\text{Fe}(\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2)_3]\text{SO}_4$). Індикатор змінює колір із зеленого на помаранчевий.

Вуглець у екстракті загального гломаліну можна розрахувати за допомогою формули (14):

$$C - TG = \frac{V_{\text{ГЗ}} - V_e}{V_{\text{ХЗ}}} \times \frac{0,4 \times 2}{m} \times 3 \times v, \quad (14)$$

де $C - TG$ – концентрація карбону в екстракті загального гломаліну, мг/г;

$V_{\text{ГЗ}}$ – об'єм розчину солі Мора, витраченого на титрування контрольного «гарячого» зразка, мл;

V_e – об'єм розчину солі Мора, витраченого на титрування екстракту гломаліну, мл;

$V_{\text{ХЗ}}$ – об'єм розчину солі Мора, витраченого на титрування контрольного «холодного» зразка, мл;

0,4 – еквівалент дихромату калію у розчині, екв/л;

2 – кількість доданого розчину дихромату калію, мл;

m – маса ґрунту, г;

3 – коефіцієнт перерахунку карбону при окисленні 1 моль дихромату калію, що перетворюється на іони Cr^{6+} і Cr^{3+} ;

v – об'єм екстракту загального гломаліну, мл.

2.2.16. Статистична обробка результатів досліджень

Отримані дані лабораторних аналізів були оброблені за допомогою статистичної програмної платформи IBM SPSS Statistics з метою оцінки впливу системи землеробства на властивості ґрунтів виноградників.

Було виконано описову статистику (середнє значення, медіана, стандартне відхилення, максимальне значення, мінімальне значення). Нормальність даних була підтверджена аналізом Шапіро-Вілка (за умови $p > 0,05$). Однорідність дисперсії для змінних була оцінена за допомогою критерію Левена (за умови $p < 0,05$). Після цього було проведено дисперсійний

аналіз (ANOVA за умови $p < 0,05$) для двох факторів – Система землеробства (далі Система) та Період закладки виноградника (далі Період). Для цього виноградники були класифіковані за першим фактором на 2 групи: традиційне та органічне землеробство. За другим фактором виноградники класифіковані на 5 груп, в залежності від року закладки виноградника:

- А (1900–1920 роки);
- Б (1921–1940 роки);
- В (1941–1960 роки);
- Г (1961–1980 роки);
- Д (1981–2000 роки).

ANOVA відображає статистично значущу різницю між групами лише за умови їх внутрішньої гомогенної дисперсії значень, що перевіряється за допомогою критерію Левена.

2.2.17. Геоінформаційні технології

Для створення карт «Територія досліджень» (див. рис. 1) та «Виноградники міста Асполя, Іспанія» (див. дод. А) використовувалася платформа QGIS 3.32.1. Дані щодо розташування виноградників були отримані з сайту Картографічно-геологічного інституту Каталонії [77].

3. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Місце розташування

Територією дослідження було обрано виноградники поблизу міста Асполя у провінції Жирона, автономній області Каталонія, Іспанія (рис. 1). 20 досліджених виноградників відносяться до одного терруару, що уможливорює дослідження потенціалу виноградників на Півночі Іспанії до секвестрування карбону (дод. А).

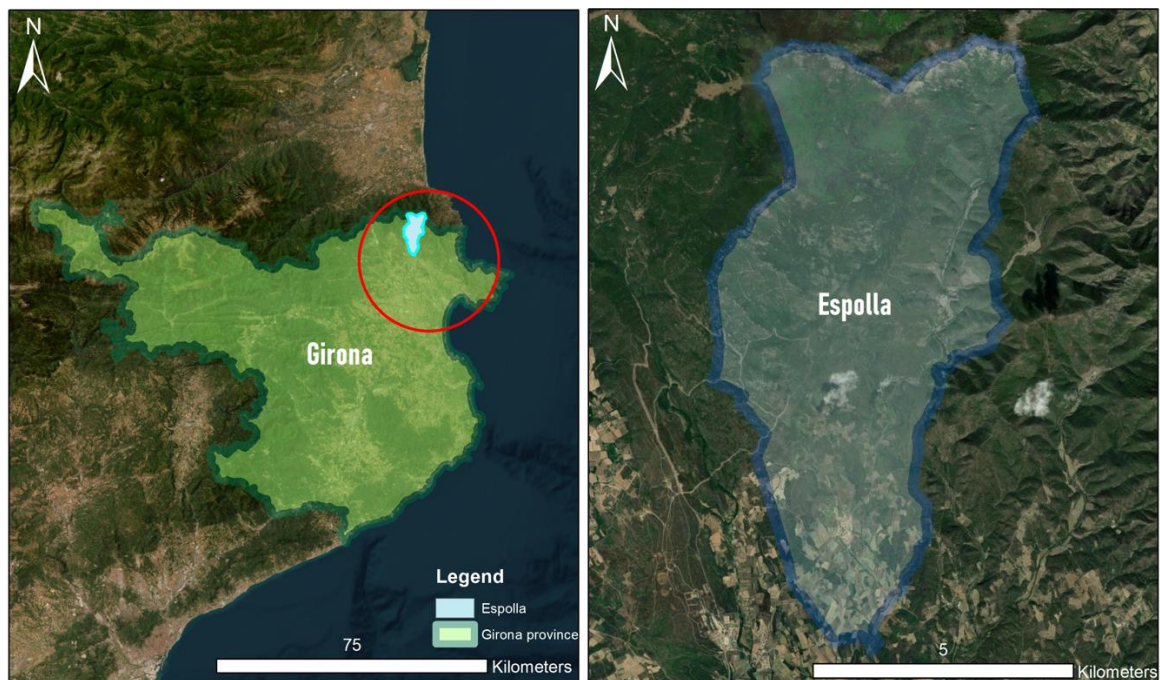


Рисунок 1 – Територія дослідження

3.2. Кліматичні умови

Утворення клімату у межах території дослідження зумовлюється декількома факторами: географічною широтою, впливом вологого Середземномор'я та комплексністю рельєфу. Влітку тут панують субтропічні повітряні маси, що приходять з Північної Африки, а взимку частіше присутні

континентальні повітряні маси. Тепле Середземне море, розташоване на сході, значно пом'якшує екстремальні температури та забезпечує безперервне джерело вологи, що за сприятливих умов утворює опади. Віддаленість від моря проявляється більш вираженими тепловими контрастами (день/ніч). Контрастність висоти та експозиції (орієнтація і нахил земної поверхні) формує складну мозаїку мікроклімату даної території.

Для території дослідження характерний континентальний середземноморський клімат. Типовими є жарке, сухе літо та м'яка, волога зима з випадковими похолоданнями (рис. 2). Середньорічна температура в Асполі становить $13,7^{\circ}\text{C}$, а липень і серпень - найспекотніші місяці, в середньому $24,1^{\circ}\text{C}$. Січень зазвичай є найхолоднішим місяцем із середньою температурою близько $5,8^{\circ}\text{C}$ [10].

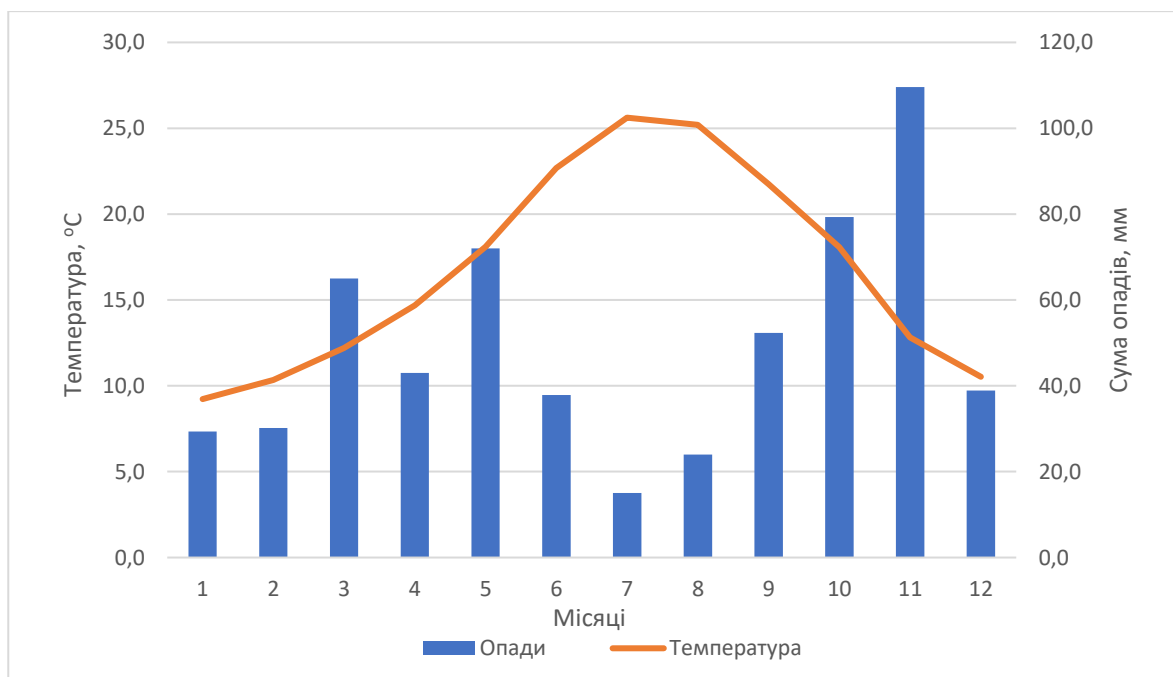


Рисунок 2 – Середньомісячна температура та сума опадів на території дослідження, за даними метеостанції «Асполя» (2013–2023 рр.)

Опади нерегулярні. Майже річна сума опадів випадає в зимовий період, тоді як влітку опадів майже немає (див. рис. 2). Більша частина території отримує близько 760 мм опадів щороку [43]. Річні показники вологості

повітря коливаються від 67 % до 72 %. Атмосферний тиск коливається від 1014,7 мбар (квітень і листопад) до 1020,4 мбар (грудень) [82].

Переважаючим є північно-західний напрямок вітру (рис. 3). Найбільш вітряний місяць – лютий (середня швидкість вітру – 20,6 км/год), найспокійніший – червень (14,2 км/год) [82].

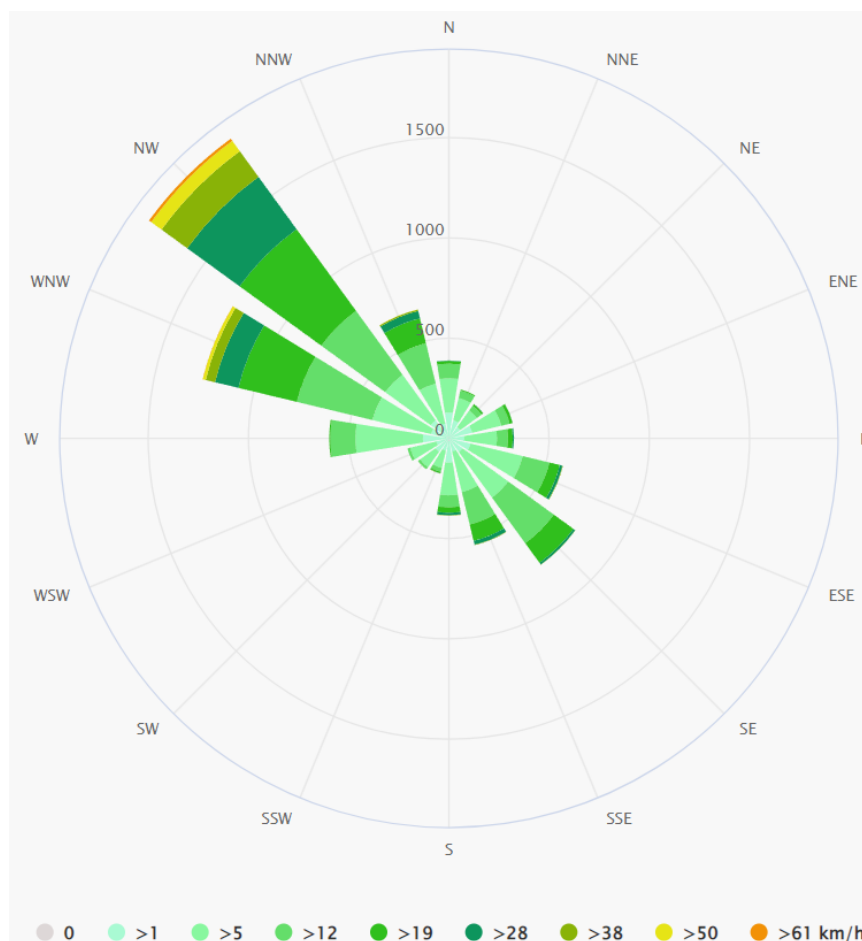


Рисунок 3 – Змодельована на основі 30-річних спостережень роза вітрів м. Асполя

Найбільш вітряний місяць – лютий (середня швидкість вітру – 20,6 км/год), найспокійніший – червень (14,2 км/год) (рис. 4).

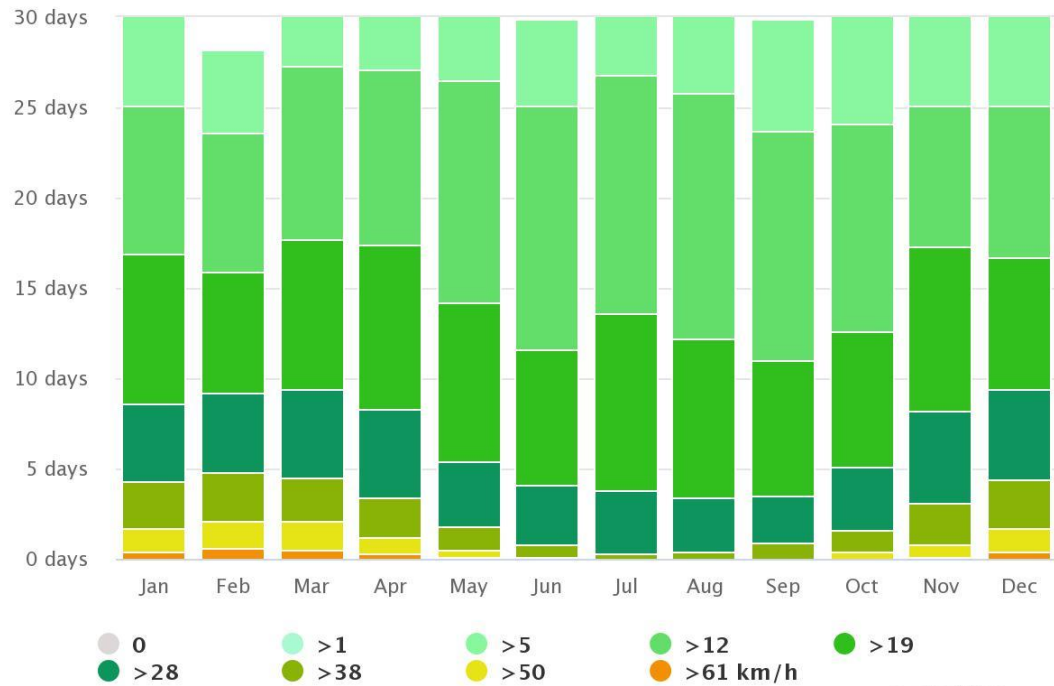


Рисунок 4 – Місячні показники швидкості вітру м. Асполя, Іспанія

Під дією сонячної радіації, особливостей адвекції повітряної мас, а також фізичних та механічних властивостей ґрунту, наявності рослинного покриву формується температурний режим ґрунту та, відповідно, запас ґрунтової вологи. Територія дослідження характеризується низьким потенціалом збереження ґрунтової вологи у зв'язку з високою евапорацією вологи влітку та низькою річною сумою опадів.

3.3. Рельєф та ґрунтовий покрив

Виноградники розташовані між гірським масивом Альбера та рівниною Альт-Емпорда. Рельєф території мозаїчний і утворений приморськими Піренеями, гірськими хребтами Середземноморської системи та крутими вододілами басейну річки Ельбре. Висота виноградників над рівнем моря коливається від 73 до 120 м.

Ґрунти утворилися з різних літологічних порід четвертинного періоду. Материнською породою є граніт та сланці. Типовими для цієї території є вапнякові лептосолі [77].

Материнська порода та клімат є основними ґрунтоутворюючими факторами для цих ґрунтів. Вміст вивітрюваних матеріалів коливається від низького до надзвичайно високого. Верхні горизонти, як правило, тонкі, з низькою кількістю органічної речовини або взагалі слабовиражені. Низька когерентність ґрунтового матеріалу робить більшість ґрунтів схильними до ерозії, а низька водоутримувальна здатність робить їх чутливими до посухи. Часто на ґрунтах утворюється тверда поверхнева кірка на початку сухого сезону, що перешкоджає появі сходів, проникненню дощової та іригаційної води в посушливий період.

Ґрунтовий профіль неглибокий, добре дренований, із середньою або грубою структурою та змінним вмістом грубих елементів. Ґрунти мають невеликий едафічний розвиток внаслідок молодого віку та повільного формування ґрунту через посуху. Хімічні характеристики ґрунтів сильно варіюють залежно від природи материнської породи. рН ґрунтів, створених з найбільш багатих карбонатами порід, є помірно лужним або слаболужним, а вміст карбонату кальцію є помірно високим або дуже високим. Ґрунти, створені на граніті, гнейсі або сланцях мають помірно кислу або слаболужну реакцію, а вміст карбонатів кальцію нульовий або дуже низький [77].

3.4. Система утримання ґрунтів

Обрані для дослідження виноградники управляються одною з найстаріших виноробних компаній в регіоні Альт-Емпорда, яка також виробляє невелику кількість оливкової олії з деяких традиційних сортів Емпорда, таких як Корівель та Аргудель.

Виноградники функціонують під двома різними системами утримання ґрунтів: традиційною (повне, або часткове застосування мінеральних добрив, гербіцидів та проведення агротехнічних заходів) та органічною (щорічне внесення гною, збереження та регулювання висоти рослинного покриву у міжрядді).

На більшості полів вирощують пізній сорт винограду – каріньян чорний, що дає великий урожай за умови правильного обрізання лози. Потенціал врожаю цього сорту досягає 200 гектолітрів/га. Менш поширеними є гарнача червоний і чорний – пізні сорти винограду, що за умови вирощування на каменистих і сланцевих ґрунтах володіють високим потенціалом до витримування. Лише на декількох виноградниках вирощуються білі сорти, в тому числі макабео.

Більш детально особливості системи землеробства на виноградниках поблизу міста Асполя описано у таблиці 1.

Таблиця 1 – Дані щодо системи землеробства на виноградниках поблизу міста Асполя

Назва	Код	Площа, га	Рік плантації	Сорт винограду	Опис системи землеробства
1	2	3	4	5	6
Кабаньелес	A1	0,56	1944	Каріньян чорний	Органічні добрива щороку, постійне рослинне покриття в парних рядах та спонтанне – в непарних з 2019 року, що регулюється 2-3 рази на рік
Короміна	A2	1,26	1939	Каріньян чорний	Органічні добрива щороку, постійне рослинне покриття в парних рядах та спонтанне – в непарних з 2016 року, що регулюється 2-3 рази на рік
Ла Вал	A3	0,42	1926	Каріньян чорний	Органічні добрива щороку, постійне рослинне покриття в парних рядах та спонтанне – в непарних з 2019 року, що регулюється 2-3 рази на рік
Пужоль	A4	0,84	1970	різні	Органічні добрива щороку, постійне рослинне покриття в парних рядах та спонтанне – в непарних з 2016 року, що регулюється 2-3 рази на рік
Домінес	A5	1,36	1949	Білий карантійський	Органічні добрива щороку, постійне рослинне покриття в парних рядах та спонтанне – в непарних з 2019 року, що регулюється 2-3 рази на рік
Гранжа	A6	0,65	1994	Гренаш червоний	Органічні добрива щороку, постійне рослинне покриття в парних рядах та спонтанне – в непарних з 2016 року, що регулюється 2-3 рази на рік

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
Беурак	A7	0,43	1969	Гренаш червоний	Органічні добрива щороку, постійне рослинне покриття в парних рядах та спонтанне – в непарних з 2022 року, що регулюється 2-3 рази на рік
Аргіла	A8	0,49	1959	Каріньян чорний	Органічні добрива щороку, постійне рослинне покриття в парних рядах та спонтанне – в непарних з 2019 року, що регулюється 2-3 рази на рік
Яуранс	A9	0,70	1987	Макабео	Органічні добрива щороку, постійне рослинне покриття в парних рядах та спонтанне – в непарних з 2019 року, що регулюється 2-3 рази на рік
Віларс	A10	0,60	1919	Каріньян чорний	Органічні добрива щороку, постійне рослинне покриття в парних рядах та спонтанне – в непарних з 2022 року, що регулюється 2-3 рази на рік
Камп де Олівера	C1	1,27	1951	Каріньян чорний	Мінеральні добрива кожні 3-4 роки, гербіциди на міжряддях та в рядках, 4-5 оранок на рік
Брусі	C2	1,50	1911	Каріньян чорний	Мінеральні добрива кожні 3-4 роки, гербіциди на міжряддях та в рядках та 4-5 оранок на рік
Аролес	C3	0,46	1909	Білі сорти	Мінеральні добрива кожні 3-4 роки, гербіциди на міжряддях та в рядках та 3-4 оранки на рік
Лес Трібанес	C4	1,09	1996	Гренаш чорний	Мінеральні та/або органічні добрива кожні 2-3 роки та 3-4 оранки на рік
Лесгесія	C5	0,27	1967	Каріньян чорний	Мінеральні добрива або органічні кожні 2-3 роки, гербіцид на міжряддях та в рядках, 6-8 оранок на рік
Серра	C7	0,39	2000	Гренаш чорний	Мінеральні або органічні добрива кожні 2-3 роки, гербіциди на міжрядді та в рядках, 6-8 оранок на рік
Ель Пла	C6	1,09	1997	Гренаш чорний	Мінеральні добрива кожні 3-4 роки, гербіциди на міжрядді та в рядках, 4-5 оранок на рік
Несто	C8	0,48	1961	Різні	Мінеральні добрива кожні 2-3 роки, гербіциди на міжрядді та в рядках, 4-5 оранок на рік

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
Цементірі	С9	0,94	1989	Гренаш червоний	Мінеральні добрива кожні 2-3 роки, гербіциди тільки на міжрядді, 4-5 оранок на рік
Ла Креу	С10	1,47	1951	Каріньян чорний	Мінеральні добрива кожні 3-4 роки, гербіциди тільки на міжрядді, 4-5 оранок на рік

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

4.1. Фізичні властивості

Для більшого розуміння ґрунтових процесів є необхідним визначення пропорцій частинок різного розміру в ґрунті (тобто текстури ґрунту). При дослідженні ґрунтів у агроєкосистемах текстура ґрунту є однією з перших та найважливіших характеристик. Це дає більш точне уявлення про розподіл частинок за розміром і загальну природу фізичних властивостей ґрунту.

Діаметри агрегатів та частинок ґрунту варіюються від 1 м до $<10^{-6}$ м [68]. Вчені класифікують їх за різними класифікаціями. У цій роботі використана класифікація Міністерства сільського господарства США (USDA). Згідно неї, частинки ґрунту понад 2 мм у діаметрі (грубі елементи, або каменистість) не є частиною дрібнозему, до якого застосовується термін «текстура ґрунту».

Піском називаються частинки від 0,05 до 2 мм. Великий відсоток вмісту піску у ґрунті свідчить про те, що ці ґрунти є добре аерованими та пористими, а також малородючими та схильними до посухи. Це пов'язано з низькою питомою поверхнею піску.

Частинки розміром від 0,002 до 0,05 мм називаються мулом. Мул володіє незначними пластичністю, когезією та адсорбційною здатністю. Через його низьку клейкість і пластичність ґрунт з високим вмістом мулу може бути чутливим до вітрової та водної ерозії.

Глиною є частинки менше від 0,002 мм. Глина має високу питому площу поверхні, що дає можливість адсорбувати воду та інші речовини у великих кількостях. Глинисті ґрунти пластичні, характеризуються значними вологоутримуючими та адсорбційними властивостями.

Назви текстурних класів визначаються за допомогою трикутного графіка, що схематично показує зв'язок відсоткового вмісту піску, мулу і глини та назви текстурного класу. Згідно USDA, існує 12 текстурних класів

грунту: глина, піщана глина, мулиста глина, піщано-глинистий суглинок, глинистий суглинок, мулисто-глинистий суглинок, суглинистий пісок, піщаний суглинок, мулистий суглинок, суглинок, пісок, мул.

Текстурні класи ґрунтів майже не відрізнялися серед досліджуваних зразків ґрунтів виноградників. Більшість ґрунтів виноградників характеризуються як піщані суглинки. Однак, деякі ділянки з традиційною системою землеробства, а саме Камп де Олівера (С1), Брусі (С2), Лесглесія (С5) та Ла Креу (С10), характеризувалися як суглинистий пісок. Варто зауважити, що відхилення у пропорції пісок-мул-глина для цих ділянок є незначним та знаходиться на межі між піщаним суглинком та суглинистим піском. Нижче показано розподіл текстурних класів ґрунтів виноградників на трикутному графіку (рис. 5), що був створений за допомогою ґрунтового калькулятора [76].

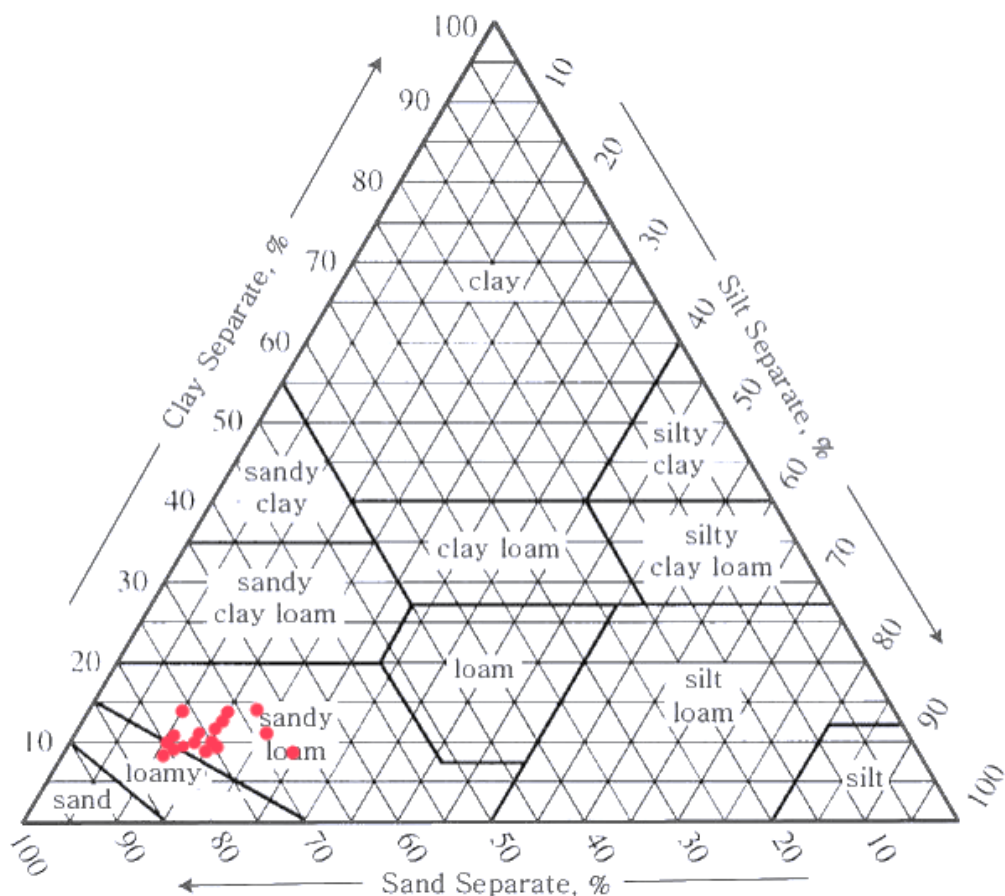


Рисунок 5 – Розподіл ґрунтів виноградників відповідно до текстурного класу

Виявлено, що вміст піску у ґрунтах виноградників коливається від 68,61 до 81,78 %, мулу – від 8,99 до 23,44 %, глини – від 8,74 до 14,45 %. Значних відмінностей у пропорційному розподілі фракцій дрібнозему на виноградниках з традиційною та органічною системами утримання ґрунтів не було знайдено.

Об'ємна щільність ґрунту (BD) є важливим параметром, що відображає здатність ґрунту забезпечувати структурну підтримку рослинності та сприяти водно-повітряному режиму. Високі значення BD свідчать про порушення функціональності ґрунту важкими (глинистими) фракціями. BD також підвищує точність оцінки якості ґрунту, що важлива для підтримання стабільного стану ґрунту в умовах різної системи землеробства.

BD виноградників коливається від 0,97 до 1,45 г/см³, тоді як критичними значеннями для суглинистого піску є 1,55-1,75 г/см³ [58]. Нижчі показники BD можуть вказувати на збільшення пористості ґрунту та ґрунтової аерації.

Було розраховано середні значення об'ємної щільності для ділянок з традиційною системою утримання ґрунтів та, окремо, для ділянок з органічною. Виявлено, що об'ємна щільність ґрунтів виноградників з традиційним землеробством вища на 9,6 % у порівнянні з органічним.

Вміст грубих елементів (понад 2 мм) у ґрунтах виноградників варіюється від 29,55 до 59,06 % (табл. 2). Каменистість ґрунтів виноградників спричинена в першу чергу характером материнської породи (сланці) та екстремальними кліматичними умовами (високі температури, невелика кількість опадів), які сповільнюють процеси трансформації первинних ґрунтових матеріалів.

Водна стійкість ґрунтових агрегатів (WSA) також є важливим фізичним параметром, який характеризує структурний розвиток ґрунту, його здатність до утворення кірки та стійкість до вітрової та водної ерозії. Агрегація ґрунту впливає також на водно-повітряний баланс ґрунту, сприяє росту коренів рослин та підтримує родючість ґрунту.

Таблиця 2 – Фізичні параметри ґрунтів виноградників

Назва	Код	Грубі елементи Ø >2 мм, %	WSA Ø 2-5,6 мм, %	WSA Ø 0,25-2 мм, %
Кабаньселес	A1	36,76 ±17,90	15,14 ±20,21	97,96 ±0,37
Короміна	A2	48,37 ±10,30	20,95 ±14,75	99,09 ±0,45
Ла Вал	A3	29,55 ±4,23	43,88 ±6,50	99,30 ±0,01
Пужоль	A4	47,33 ±4,38	18,58 ±21,80	98,70 ±0,14
Домінес	A5	53,31 ±1,46	26,80 ±6,31	97,35 ±0,75
Гранжа	A6	41,65 ±5,32	32,20 ±12,47	93,61 ±1,73
Беурак	A7	49,91 ±10,31	2,77 ±2,13	97,34 ±0,13
Аргіла	A8	43,47 ±3,34	12,19 ±7,41	89,80 ±2,58
Юранс	A9	53,23 ±1,99	38,69 ±3,02	86,04 ±7,85
Віларс	A10	47,33 ±7,13	-	97,89 ±0,24
Камп де Олівера	C1	55,43 ±1,22	-	98,49 ±0,76
Брусі	C2	47,20 ±6,66	-	98,02 ±0,84
Аролес	C3	42,48 ±3,23	24,37 ±21,85	98,38 ±1,15
Лес Трібанес	C4	54,98 ±2,93	8,76 ±7,40	98,46 ±0,49
Лесгесія	C5	30,69 ±13,03	9,53 ±4,31	98,19 ±0,49
Серра	C6	59,06 ±6,81	9,23 ±8,20	96,55 ±1,72
Ель Пла	C7	42,12 ±2,07	7,91 ±5,92	95,84 ±2,25
Несто	C8	49,23 ±5,54	-	93,93 ±2,13
Цементірі	C9	42,54 ±5,35	-	95,78 ±2,10
Ла Креу	C10	47,14 ±3,76	-	97,95 ±1,72
р-значення ANOVA	Система	0,427	<0.001*	<0.001*
	Період	0.166	0.124	0.014*

* р-значення тесту Левена < 0,05 (гомогенність дисперсій порушена)

Під час аналізу, у ґрунтових зразках виноградників Віларс (A10), Камп де Олівера (C1), Брусі (C2), Несто (C8), Цементірі (C9) та Ла Креу (C10) водотривких агрегатів Ø 2-5,6 мм не було виявлено. У інших зразках відсотковий вміст власне ґрунтових агрегатів Ø 2-5,6 мм в середньому становить 6,5 %, з них водотривкими є від 2,8 до 43,9 % (див. табл. 2).

Відхиляючи значний вміст піску у ґрунтах (понад 67 %), ґрунтові агрегати Ø 2 до 0,25 мм становлять приблизно 30%. Визначено, що ця фракція ґрунтових агрегатів є дуже стійкою з показниками WSA від 86 до 99,3 % (див. табл. 2).

Згідно статистичного аналізу, для параметру WSA (\varnothing 0,25-2 мм) було виявлено значущі відмінності за обома факторами (Система та Період), а для параметру WSA (\varnothing 2-5,6 мм) лише за фактором Система. Однак, дисперсії в групах цих факторів є негомогенними, тому результати ANOVA, які хоча і відображають вагомі різниці між групами, є некоректними.

4.2. Хімічні властивості

Хімічні параметри ґрунту мають вплив на доступність поживних речовин та якість ґрунту. У таблиці 3 показано середні значення та стандартне відхилення рН та електропровідності.

Таблиця 3 – Хімічні параметри ґрунтів виноградників

Назва	Код	рН	Електропровідність, дС/м
Кабаньєлес	A1	4,84 \pm 0,24	0,11 \pm 0,02
Короміна	A2	6,10 \pm 0,48	0,11 \pm 0,04
Ла Вал	A3	5,84 \pm 0,64	0,14 \pm 0,01
Пужоль	A4	5,27 \pm 0,20	0,18 \pm 0,09
Домінес	A5	6,92 \pm 0,49	0,22 \pm 0,08
Гранжа	A6	7,38 \pm 0,41	0,08 \pm 0,01
Беурак	A7	5,25 \pm 0,46	0,23 \pm 0,03
Аргіла	A8	4,77 \pm 0,58	0,05 \pm 0,01
Яуранс	A9	6,27 \pm 0,33	0,10 \pm 0,05
Віларс	A10	4,61 \pm 0,09	0,16 \pm 0,06
Камп де Олівера	C1	5,18 \pm 0,08	0,10 \pm 0,02
Брусі	C2	4,45 \pm 0,22	0,10 \pm 0,01
Аролес	C3	5,82 \pm 0,22	0,10 \pm 0,01
Лес Трібанес	C4	5,78 \pm 0,36	0,13 \pm 0,06
Лесгесія	C5	4,91 \pm 1,11	0,09 \pm 0,03
Серра	C6	5,43 \pm 0,85	0,20 \pm 0,07
Ель Пла	C7	4,88 \pm 0,15	0,26 \pm 0,08
Несто	C8	5,69 \pm 0,46	0,12 \pm 0,03
Цементірі	C9	4,88 \pm 0,61	0,08 \pm 0,03
Ла Креу	C10	4,86 \pm 0,48	0,23 \pm 0,08
р-значення ANOVA	Система	0,014*	0,899
	Період	0,06	0,754

* р-значення тесту Левена < 0,05 (гомогенність дисперсій порушена)

Реакція водної витяжки у ґрунтах виноградників варіюється від нейтральної до дуже сильнокислої, згідно класифікації [60].

Викликають занепокоєння рівні $\text{pH} < 5$ на ділянках Кабаньєлес (A1), Аргіла (A8), Віларс (A10), Брусі (C2), Лес Трібанес (C4), Лесглесія (C5), Цементірі (C9) та Ла Креу (C10). Це може бути спричинено сукупністю природних та антропогенних факторів. Наприклад, материнська порода, характер процесів вивітрювання, клімат, тип рослинності а також окремі види сільськогосподарської діяльності, зокрема внесення мінеральних добрив, що мають підкислюючі властивості. Розвиток сильнокислих ґрунтів може призвести до поганого росту рослин у зв'язку з токсичністю рухомих сполук алюмінію, дефіциту кальцію та магнію, низьким рівнем поживних речовин, наприклад фосфору [51].

Електропровідність є індикатором доступності поживних речовин у ґрунті. Катіони та аніони солей, розчинених у ґрунтовій витяжці, несуть електричні заряди і проводять електричний струм. Це означає, що електропровідність ґрунтової витяжки визначається концентрацією іонів солей у ній, і, зазвичай, характеризує ступінь засоленості ґрунту [59]. Згідно отриманих результатів (див. табл. 3), ґрунти виноградників характеризуються як несолоні ($\text{EC} < 2$ дС/м). Низька електропровідність часто пов'язана з кислими ґрунтами, які мають меншу концентрацію іонів солей. Наявність органічної речовини також може впливати на електропровідність, знижуючи її за рахунок здатності до утримування вологи.

ANOVA показав вагому відмінність між групами лише за фактором Система для показника pH , але за умови порушеної гомогенності дисперсії у групах (див. табл. 3).

4.3. Біохімічні властивості

Визначення біохімічних параметрів ґрунту відіграє важливе значення при оцінці потенціалу виноградників до секвестрування карбону, а також займає ключову позицію при наданні рекомендацій щодо введення агротехнічних та агрохімічних заходів на виноградниках. Було розраховано середні значення та стандартні відхилення для наступних параметрів: загальну кількість органічного вуглецю (ТОС), окислюваний органічний вуглець (C_{ox}), активний органічний вуглець (РОХС) та потенційне дихання ґрунту (CO_2) (табл. 4).

Таблиця 4 – Органічний карбон та виділення CO_2 у ґрунтах виноградників

Назва	Код	ТОС, %	C_{ox} , %	РОХС мг/г	CO_2 , м/кгхдень
Кабаньєлес	A1	3,22 ±1,21	0,65 ±0,38	0,22 ±0,11	0,09 ±0,04
Короміна	A2	6,33 ±0,05	0,52 ±0,06	0,67 ±0,12	0,19 ±0,03
Ла Вал	A3	5,41 ±0,38	1,44 ±0,10	0,64 ±0,13	0,12 ±0,02
Пужоль	A4	4,92 ±1,11	0,78 ±0,07	0,49 ±0,13	0,16 ±0,08
Домінес	A5	4,72 ±0,21	1,22 ±0,13	0,57 ±0,05	0,17 ±0,02
Гранжа	A6	4,43 ±0,27	1,08 ±0,08	0,66 ±0,07	0,17 ±0,02
Беурак	A7	3,92 ±0,08	1,11 ±0,32	0,22 ±0,05	0,07 ±0,02
Аргіла	A8	5,25 ±0,27	0,62 ±0,19	0,41 ±0,13	0,09 ±0,03
Яуранс	A9	4,65 ±0,63	1,00 ±0,04	0,46 ±0,11	0,15 ±0,03
Віларс	A10	4,51 ±0,98	0,64 ±0,18	0,42 ±0,12	0,09 ±0,04
Камп де Олівера	C1	2,77 ±0,42	1,05 ±0,13	0,04 ±0,08	0,15 ±0,05
Брусі	C2	4,14 ±0,16	0,50 ±0,02	0,1 ±0,17	0,15 ±0,02
Аролес	C3	5,48 ±0,07	0,77 ±0,30	0,42 ±0,22	0,18 ±0,01
Лес Трібанес	C4	4,02 ±0,49	0,41 ±0,12	0,01 ±0,01	0,18 ±0,03
Лесгесія	C5	3,35 ±0,47	0,98 ±0,41	0,05 ±0,08	0,15 ±0,01
Серра	C6	2,90 ±0,05	0,51 ±0,06	0 ±0,01	0,17 ±0,01
Ель Пла	C7	3,50 ±0,58	0,85 ±0,19	0,12 ±0,12	0,16 ±0,02
Несто	C8	3,64 ±0,55	0,56 ±0,11	0 ±0,01	0,19 ±0,02
Цементірі	C9	3,66 ±0,34	0,86 ±0,22	0,06 ±0,1	0,17 ±0,01
Ла Креу	C10	4,44 ±0,91	0,58 ±0,29	0,07 ±0,20	0,20 ±0,03
р-значення ANOVA	Система	<0.001	0.014	<0.001	<0.001*
	Період	<0.001	0.166*	0.002	0.230*

* р-значення тесту Левена < 0,05 (гомогенність дисперсій порушена)

Значення ТОС у ґрунтах виноградників коливається від 2,77 до 6,33 %. Порівнюючи отримані результати (див. табл. 4), виявлено, що середнє значення концентрації ТОС на виноградниках з системою органічного утримання ґрунтів на 25 % більша, ніж на виноградниках з традиційним.

Значення C_{ox} коливаються від 0,41 до 1,44 % (див. табл. 4). На більшості виноградників з системою органічного землеробства концентрація C_{ox} більша на 28 %, ніж з традиційним.

Концентрація РОХС у ґрунтах виноградників не перевищує 0,67 мг/г ґрунту. Це говорить нам про збідненість ґрунтів виноградників на лабільний органічний вуглець. На більшості ділянок з традиційним землеробством РОХС є надзвичайно низьким (від 0 до 0,12 мг/г), окрім Aroles (C3), де РОХС становить 0,42 мг/г (див. табл. 4).

Інтенсивність дихання ґрунту характеризує активність мікробіологічних процесів мінералізації та гуміфікації. Чим вища потенційна кількість CO_2 , що виділяється мікроорганізмами у ґрунті, тим інтенсивніше відбуваються процеси мінералізації органічної речовини. Потенційне дихання ґрунту (CO_2) у ґрунтах виноградників становить від 0,09 до 0,2 мг/кг \times день. Середня кількість CO_2 , виділена ґрунтом, на виноградниках з органічною системою землеробства на 24 % нижча у порівнянні з традиційною.

Було знайдено вагомї відмінності за фактором Система у наступних показниках: ТОС, C_{ox} , РОХС. Це доводить позитивний вплив системи органічного утримання ґрунтів на біохімічні параметри ґрунту, зокрема ТОС, C_{ox} та РОХС. За фактором Період було знайдено вагому різницю між групами лише за параметрами ТОС та РОХС.

Деякі автори стверджують, що легкоекстрагований гломалін (EEG-BRSP) – це свіжа порція білкового матеріалу, багатого на органічний вуглець, що виділяється АМГ протягом їхнього життєдіяльності [12]. Фактично, EEG-BRSP виробляється безперервно і піддається процесу старіння в ґрунті, щоб стати стабільним пулом органічного вуглецю, тобто трансформується в

загальний гломалін (TG-BRSP). Оскільки відомо, що TG-BRSP також діє як клей для стабілізації ґрунтових агрегатів, розумно припустити, що ця фракція SOC захищена в мікропористості ґрунту, зафіксована в стабільній структурі і законсервована процесами мінералізації [20].

Середні значення концентрації легкоекстрагованого та загального гломаліну та їх стандартні відхилення, а також вміст карбону у екстракті гломаліну, були досліджені для ґрунтів виноградників (табл. 5).

Таблиця 5 – Вміст фракцій гломаліну у ґрунтах виноградників

Назва	Код	EEG-BRSP, мг/г	TG-BRSP, мг/г	C-TG, мг/г
Cabanyelles	A1	0,44 ±0,09	1,69 ±0,45	0,28 ±0,05
Coromina	A2	0,50 ±0,07	1,54 ±0,06	0,44 ±0,01
La Vall	A3	0,55 ±0,02	2,25 ±0,34	0,36 ±0,04
Pujol	A4	0,59 ±0,10	1,28 ±0,32	0,35 ±0,03
Domines	A5	0,46 ±0,02	1,74 ±0,11	0,31 ±0,02
Granja	A6	0,54 ±0,02	1,17 ±0,15	0,31 ±0,06
Beurac	A7	0,43 ±0,07	0,83 ±0,24	0,25 ±0,02
Argila	A8	0,54 ±0,16	1,37 ±0,40	0,26 ±0,03
Lllaurans	A9	0,47 ±0,09	1,04 ±0,15	0,09 ±0,12
Vilars	A10	0,58 ±0,09	1,17 ±0,25	0,10 ±0,07
Camp de l'Olivera	C1	0,35 ±0,03	1,28 ±0,10	0,11 ±0,09
Brusi	C2	0,43 ±0,01	1,10 ±0,18	0,12 ±0,09
Aroles	C3	0,52 ±0,03	1,36 ±0,86	0,29 ±0,02
Les Tribanes	C4	0,27 ±0,03	0,69 ±0,02	0,18 ±0,02
L'esglesia	C5	0,39 ±0,13	1,54 ±0,27	0,10 ±0,06
El Pla	C6	0,44 ±0,02	0,71 ±0,09	0,10 ±0,06
Serra	C7	0,19 ±0,11	0,42 ±0,16	0,19 ±0,03
Nesto	C8	0,66 ±0,08	0,85 ±0,09	0,24 ±0,11
Cementiri	C9	0,49 ±0,04	1,14 ±0,07	0,24 ±0,13
La Creu	C10	0,44 ±0,16	1,20 ±0,31	0,22 ±0,04
р-значення ANOVA	Система	0.005	0.002	<0.001
	Період	0.104	<0.001	<0.001

Виявлено, середні концентрації EEG-BRSP, TG-BRSP, та C-TG на ділянках з органічним землеробством вищі, ніж на ділянках з традиційним, на 22%, 37% та 53% відповідно.

За фактором Система були виявлена вагома різниця між групами для всіх трьох показників: EEG-BRSP, TG-BRSP та C-TG, а для фактору Період – лише для TG-BRSP і C-TG.

4.4. Вплив результатів досліджень на економічні процеси у сфері секвестрування карбону

Отримані дані дозволяють точніше оцінити вплив галузі виноградарства на національний та глобальний вуглецевий слід. Зокрема, визначено, що органічна система землеробства забезпечує на 25-53% більше накопичення стабільних форм вуглецю в ґрунтах виноградників порівняно з традиційною. Ця інформація є цінною для коригування існуючих моделей оцінки впливу агросектору на клімат та уточнення прогнозів щодо динаміки викидів та поглинання парникових газів у майбутньому за різних сценаріїв розвитку галузі.

Точний облік вуглецевого сліду виноградарства набуває особливого значення в контексті «зеленої» трансформації економіки та жорстких вимог ЄС щодо скорочення викидів CO₂. Це впливатиме на конкурентоспроможність виноробної продукції на європейських ринках у стратегічній перспективі.

Результати досліджень цієї роботи передбачають економічну доцільність впровадження органічних технологій у виноградарстві з огляду на зростаючу цінність «вуглецевих кредитів» на світових ринках.

Водночас, перехід на органічне виробництво потребує певних інвестицій та витрат. Проте збільшення вмісту гумусу підвищує родючість ґрунтів, а отже й урожайність та якість винограду. Крім того, органічна продукція має вищу ціну реалізації. Отже, впровадження органічних технологій у виноградарстві є економічно обґрунтованим рішенням як з точки зору вуглецевого балансу, так і комерційної ефективності галузі.

Отримані дані є науковим підґрунтям для розробки практичних рекомендацій щодо підвищення родючості та продуктивності виноградників за рахунок оптимізації фізичних, хімічних і біохімічних характеристик ґрунту. Зокрема, встановлено позитивний вплив органічних добрив, збереження рослинного покриву та інших агрозаходів на вміст гумусу та стабільних форм вуглецю. Це дозволяє розробити рекомендації з комплексного застосування таких агротехнологій для конкретних типів ґрунтів виноградників.

Результати сприятимуть науковому обґрунтуванню заходів державної політики щодо розвитку екологічно та економічно оптимальних моделей ведення сільського господарства в умовах змін клімату. Зокрема, дані про потенціал органічного виноградарства щодо секвестрації CO₂ можуть стати підґрунтям для розробки програм державної підтримки такої моделі господарювання. Це передбачає як прямі виплати за впровадження відповідних агротехнологій, так і непрямі важелі стимулювання (пільгове оподаткування, кредитування тощо).

Така політика дозволить посилити роль виноградарства у вуглецевому балансі, підвищити екологічну стійкість галузі та забезпечити сталий розвиток сільських територій у довгостроковій перспективі.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Забезпечення безпеки праці при здійсненні комплексних екологічних досліджень є надзвичайно важливим завданням. В першу чергу, це пов'язано з запобіганням можливим ризикам для здоров'я та життя дослідників.

В Європейському Союзі діють загальні норми та стандарти з охорони праці, які мають бути імплементовані в національне законодавство кожної країни-члена. Зокрема, це стосується Директиви 89/391/ЄЕС про безпеку праці та гігієну праці. Відповідно до цієї Директиви, роботодавець зобов'язаний забезпечити безпечні та здорові умови праці для всіх працівників, включаючи стажерів. Це включає навчання та інструктажі з питань охорони праці, забезпечення засобами індивідуального захисту, медогляди та ін.

Всі суспільні процеси, в тому числі і трудові відносини, в Іспанії регулюються Конституцією Іспанії, що була прийнята 29.12.1978 року [78]. Додатковими регуляторами виступають інші законодавчі акти, що відповідають Основному закону, а також норми, рекомендації, правила та інструкції на підприємстві.

Реалізація досліджень для цієї кваліфікаційної роботи була здійснена з дотриманням вимог та правил безпеки, що регулюються нормами іспанського законодавства, а саме Законом 31 від 08.11.1995 р. «Про запобігання професійним ризикам» та Законом 54 від 12. 12.2003 р. «Про реформу нормативно-правової бази щодо запобігання професійним ризикам». Були також дотримані вимоги щодо профілактики професійних ризиків та дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій, що регламентовані правилами та рекомендаціями Університету Жирони.

Запобігання професійним ризикам інтегровані в загальну систему управління Університету Жирони, як і у всій його діяльності та всіх

ієрархічних рівнях, шляхом реалізації та застосування плану запобігання професійним ризикам, що включає організаційну структуру, відповідальність, функції, процедури, процеси та необхідні ресурси. Ця інтеграція здійснюється лише шляхом розподілу функцій і регулювання відповідних обов'язків, що дозволяє досягти стратегічних та оперативних цілей, встановлених університетом [75].

Власною службою Університету Жирони є Управління гігієни праці, яке є технічним підрозділом, призначеним для надання чітких рекомендацій і підтримки у сфері запобігання професійним ризикам.

Окрім Управління гігієни праці також функціонує Комітет з безпеки та гігієни праці – орган спільної та колегіальної участі, призначений для регулярних і періодичних консультацій щодо дій Університету Жирони у сфері запобігання професійним ризикам. У його функціональні обов'язки входить вирішення усіх питань, пов'язаних з політикою запобігання професійних ризиків університету. Комітет також займається питаннями навколишнього середовища, які безпосередньо пов'язані з безпекою та здоров'ям людей, і може пропонувати ініціативи з цього приводу.

Усі немісцеві робочі поїздки, наприклад відбір ґрунтових проб, потребують попереднього дозволу та обов'язкового інструктажу з правил безпеки дорожнього руху.

Рекомендації щодо безпеки дорожнього руху

1. Всі працівники мають здійснювати робочі поїздки з дотриманням правил дорожнього руху, інформування про які відбувається до поїздки.

2. Перед кожною робочою поїздкою стан транспортного засобу має бути перевірений, зокрема гальма, світлове та сигналізаційне обладнання, шини та інші елементи, що можуть впливати на безпеку транспортного руху.

3. Водій, пасажери та транспортні засоби мають бути забезпечені належним страхуванням, що включає в себе страхування здоров'я та життя, втрати та пошкодження майна у разі виникнення аварій.

4. Місця для сидіння пасажирів мають бути обладнані ременями та подушками безпеки.

Хімічна лабораторія є об'єктом підвищеної небезпеки. У лабораторії можуть бути виявлені ризики дуже різного походження та наслідків залежно від напряму дослідницької діяльності та особливостей проведення досліджень. Основними ризиками, яким можуть піддатися працівники лабораторії є: порізи та проколи; контакт з хімічними реактивами, що можуть викликати опіки або інші пошкодження; вдихання парів шкідливих хімічних речовин; термо- та електроконтакти; падіння тощо.

Правила безпечної роботи в хімічній лабораторії

1. Працюйте тихо.
2. Ніколи не виконуйте експерименти без нагляду куратора.
3. Ставте запитання чи звертайтеся за допомогою до куратора у будь-якій незнайомій вам ситуації.
4. Утримуйте робоче місце в чистоті та порядку.
5. Мийте руки після виконання експерименту та перед виходом з лабораторії.
6. В лабораторії суворо заборонено їсти та пити.
7. Обов'язково використовуйте засоби індивідуального захисту (халат, рукавички, окуляри, маска).
8. Взуття має бути закритим та добре підтримувати ступню.
9. Волосся має бути зібраним, носити прикраси та широкі рукава неприпустимо.
10. Перевіряйте температуру матеріалів перш ніж брати їх безпосередньо руками. Використовуйте затискачі або терморукавиці.
11. Перед використанням хімічної речовини уникайте ризиків, пов'язаних з їх використанням. Дотримуйтесь інструкції, що вказані у Паспорті безпеки продукту (SDS).
12. Завжди вказуйте назву реактиву та концентрацію на лабораторному посуді при приготуванні розчинів.

13. Працюйте з летючими хімічними речовинами лише у витяжній шафі та обов'язково використовуйте засоби особистого захисту.

14. Ніколи не повертайте будь-який використаний реагент у оригінальну ємність.

15. Негайно прибирайте розлиті речовини.

16. Відходи та залишки реактивів та їх розчинів зберігайте у спеціальних ємностях та контейнерах. Не викидайте нічого в каналізацію! Проконсультуйтеся з куратором якщо є сумніви щодо цього.

17. Переконайтеся, що скляний посуд у хорошому стані та, якщо це необхідно, придатний до нагрівання.

18. Нагрівайте розчини поступово, щоб уникнути руйнування матеріалу та розбризкування вмісту.

19. Не спрямовуйте отвір ємності на себе чи близьких вам людей.

20. Після закінчення практики від'єднайте електроприлади від мережі, перекрийте водопровідні та газові крани.

21. У разі виникнення аварійних ситуацій з хімічним продуктом дотримуйтеся інструкцій у Паспорті безпеки продукту. У разі вдихання шкідливих парів швидко вийте на свіже повітря. У разі потрапляння на шкіру промити великою кількістю проточної води протягом не менше 10 хв. При попаданні в очі промити їх водою з відкритими повіками не менше 10 хв. У разі проковтування випити багато води. В УСІХ ВИПАДКАХ ЗВЕРНІТЬСЯ ЗА МЕДИЧНОЮ ДОПОМОГОЮ.

В лабораторії відбувається безпосередній контакт людини з хімічними речовинами, що можуть мати отруйні чи шкідливі властивості. Знання ступеню небезпечності реактивів та особливостей їх хімічної чи токсичної дії запобігає виникненню нещасних випадків та травматизму на робочому місці.

Рекомендації щодо зберігання хімічних реактивів

1. Обсяг хімічного реактиву для зберігання має бути об'ємом до 5 л (кг) для зберігання на нижніх рівнях та до 1 л (кг) на вищих, щоб зменшити ризики під час їх прийому, зберігання та використання.

2. На ємності має бути вказана інформація про назву реактиву, концентрацію, ступінь/клас небезпеки, правила зберігання та використання.

3. Хімічні реактиви мають зберігатися згідно правил сумісництва зберігання кислот, лугів, солей та приготованих хімічних розчинів.

4. Легкозаймисті речовини відповідно до класу небезпеки мають зберігатися в спеціальній шафі з вогнетривкістю не менше 15 хв.

5. За наявності можливості, робота з канцерогенними та мутагенними речовинами має бути обмеженою максимально.

6. Паспорти безпеки наявних хімічних продуктів, які містять інформацію щодо їх безпечного зберігання та використання, зберігаються в лабораторії та є обов'язковими для ознайомлення кожним робітником.

Безпека при роботі з газами

Маніпуляції з газами можуть відбуватися у двох випадках: при роботі безпосередньо з газовими балонами під тиском та при роботі зі стаціонарними газовими установками. Аварійні ситуації, що можуть виникнути під час такого виду роботи є наступними: витік газу, виникнення полум'я біля горловини газового балона, виникнення пожежі у приміщенні. Вони мають бути враховані при плануванні будівель з лабораторіями.

Найефективнішим профілактичним заходом для запобігання витіку пляшки є періодична перевірка з'єднань ємностей та газової установки. Цей огляд необхідно проводити за допомогою мильної води або спеціальних детекторів газу, ніколи не використовуючи джерела запалювання чи світлові лампи.

Якщо при роботі виявлено витік газу або загоряння, закрийте кран та повідомте про інцидент менеджеру установи або лабораторії. Доцільно виконуйте екстренні дії: евакуація, повідомлення пожежної служби, ізоляція приміщення та ін.

Безпека при роботі з рідкими та твердими реактивами

Кожного разу, коли хімічні продукти використовуються, існує ризик випадкового розлиття, падіння чи розсипання.

У разі розливу рідких хімічних продуктів у лабораторії необхідно швидко нейтралізувати їх та усунути, щоб уникнути їх випаровування та можливої шкоди для працівників та об'єктів.

Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) залежить від характеристик небезпеки розлитого продукту. Ось чому важливо ознайомитися з паспортом безпеки розлитого продукту. Загалом рекомендується використовувати рукавички, непроникний фартух, маску зі спеціальним фільтром та захисні окуляри.

При розлитті легкозаймистих рідин ізолюйте місце та уникайте джерел займання. Розлив необхідно поглинати активованим вугіллям, сепіолітом або іншими спеціальними абсорбентами, які є в лабораторії. Ніколи не використовуйте тирсу, оскільки вона горюча.

При розлитті кислот їх необхідно абсорбувати якнайшвидше, оскільки як прямий контакт, так і пари, що утворюються можуть завдавати шкоди людям і обладнанню.

Для нейтралізації кислоти найкраще використовувати абсорбенти-нейтралізатори, які є в лабораторії і виконують обидві функції. Якщо їх немає, кислоти можна нейтралізувати бікарбонатом натрію. Після нейтралізації уражену поверхню необхідно промити великою кількістю води з миючим засобом.

Основи нейтралізуються та поглинаються або спеціальними комерційними продуктами, або великою кількістю води зі слабкокислим рН. Після нейтралізації уражену поверхню промивають миючим розчином.

Розливи інших негорючих, токсичних або корозійних їдких хімічних продуктів можуть бути поглинені сепіолітом.

Абсорбенти та інші матеріали, що використовувалися для очищення та збору місця розливу повинні розглядатися як токсичні відходи.

Поводження з відходами

Правила поведінки з відходами в лабораторіях є дуже важливим аспектом забезпечення належного рівня безпеки.

Усі відходи мають збиратися в спеціально промарковані ємності відповідно до класу небезпеки (токсичні, хімічні, біологічні і т.д.).

Категорично заборонено виливати небезпечні речовини в каналізацію. Для рідких відходів передбачені спеціальні контейнери.

Пакування та маркування контейнерів з відходами має чітко визначати клас небезпеки.

Вивезення та утилізація лабораторних відходів має здійснюватися спеціалізованими організаціями згідно нормативів.

Обов'язкове ведення журналів обліку утворення та передачі небезпечних відходів.

Робота в лабораторії ґрунтів передбачає роботу з електроприладами, такими як комп'ютер, витяжна шафа, електронні терези, сушильна шафа, термостат, нагрівальні плити, автоклав, центрифуга, спектрофотометр тощо. Дотримання стандартів безпеки запобігає можливим небезпекам: ураження електричним струмом, пожежі чи інші аварійні ситуації.

Загальні вимоги безпеки при роботі з електроприладами

1. Перед роботою з електроприладом ознайомтеся з правилами експлуатації даного приладу.
2. Користуйтеся інструментом чи обладнанням лише за його призначенням.
3. Для запобігання ураженню електричним струмом користуйтеся індивідуальними засобами ізоляції.
4. Забезпечте належне заземлення всіх електроприладів для мінімізації ризику статичної електрики та аварійних ситуацій.
5. Забезпечте відкриті джерела струму належним захистом або обмеженням для ненавмисного дотику.
6. Уникайте перегрівання електроприладів.
7. Проводьте регулярне технічне обстеження електроприладів з метою попередження несправностей.
8. Не використовуйте несправні електроприлади.

9. При виявленні знеструмлення електроприладу або його несправності вимкніть його вимикачем, роз'єднайте живильний кабель з мережею та проінформуйте відповідний відділ.

Вимоги безпеки у випадку пожежі

1. Перед роботою персонал має бути поінформований про правила поведіння у разі виникнення пожежі, чіткий план евакуації, пункти збору, місця збереження протипожежних засобів та засобів індивідуального захисту.

2. У разі пожежі відійдіть та зачиніть двері постраждалого приміщення, щоб локалізувати вогонь.

3. Повідомте командний пункт або натисніть найближчу кнопку пожежної сигналізації.

4. Попередьте людей, які знаходяться поблизу і можуть постраждати.

5. Намагайтеся загасити вогонь лише якщо його масштаби дозволяють, ви готові це зробити та володієте знаннями пожежогасіння, звичайно, ставлячи власну безпеку на перше місце.

6. При повідомленні про пожежу припиніть роботу і впорядковано вийдіть згідно плану евакуації.

7. Не повертайтеся, щоб забрати речі.

8. Якщо вогонь або дим перешкоджає виходу, не проходите. Зачиніть двері та вікна евакуйованих приміщень та повідомте про свою присутність будь-яким способом.

ВИСНОВКИ

За текстурним класом ґрунту більшість виноградників поблизу міста Асполя характеризуються як піщані суглинки. Для них є характерним висока дренаваність та аерація ґрунту, на що також вказують значення об'ємної щільності ґрунту. Надмірна аерація ґрунту може прискорювати мінералізацію органічної речовини мікроорганізмами та викликати втрати вуглецю у вигляді вуглекислого газу.

Високий вміст грубих елементів вказує на сповільнені процеси трансформації первинних матеріалів ґрунту в умовах теплого і посушливого клімату території дослідження.

Вміст водотривких ґрунтових агрегатів діаметром 2-5,6 мм дуже варіюється в залежності від місцезросташування виноградників і становить від 2,8 до 43,9 %. На ділянках Віларс, Камп де Олівера, Брусі, Несто, Цементірі та Ла Креу водотривких агрегатів діаметром 2-5,6 мм не було виявлено. Ґрунтові агрегати діаметром 0,25-2 мм є достатньо водотривкими у ґрунтах всіх досліджених виноградників, однак займають лише 30 % всієї маси ґрунту.

За результатами вимірювання електропровідності, ґрунти виноградників характеризуються як несолоні. Реакція ґрунтів виноградників варіюється від нейтральної до дуже сильнокислої. Наявність процесів ацидифікації ґрунтів відмічена у виноградниках як з органічною, так і з традиційною системою утримання ґрунтів. Подальше закислення ґрунту може призвести до погіршення умов росту та розвитку рослин, зниження врожайності та якості продукції.

Дисперсійний аналіз виявив вагому різницю вмісту різних форм органічного вуглецю у ґрунтах виноградників за фактором Система землеробства. У ґрунтах виноградників з органічною системою землеробства концентрації ТОС і C_{ox} вищі, ніж на виноградниках з традиційною, на 25 та 28 % відповідно. Запас активного органічного вуглецю (РОХС) у ґрунтах

виноградників низький. Це свідчить про незначний вміст лабільних органічних сполук, здатних до швидкої мінералізації мікроорганізмами. Вагома різниця показників ТОС та РОХС за фактором Період закладки виноградників свідчить про вплив часу на вміст органічного вуглецю у ґрунтах виноградників.

Результати визначення потенційного дихання ґрунтів виноградників свідчать, що за умови органічного утримання ґрунтів виділення CO_2 нижче на 24% у порівнянні з традиційною.

Фракції гломаліну значно збільшились за органічного утримання ґрунтів на 22–53 %, що вказує на те, що таке управління ґрунтом може бути більш ефективним в стратегіях накопичення вуглецю. Оскільки, гломалін є рекальцитрантною сполукою вуглецю, яка продукується мікоризними грибами та володіє подвійним ефектом: сприяє агрегації ґрунту та є складовою ґрунту, яка погано мінералізується.

Отже, органічна система утримання ґрунтів виявилася більш ефективною у стимулюванні мікробної та грибнової активності для продукування більш стабільного органічного вуглецю, що сприяє пом'якшенню зміни клімату шляхом секвестрації вуглецю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abdul S., Abbasi M., Wang J., Liu Q., Sun M.-Z., Liu S. Bidirectional interaction of lncRNA AFAP1-AS1 and CRKL accelerates the proliferative and metastatic abilities of hepatocarcinoma cells. *Journal of Advanced Research*. 2020. Vol. 24. P. 121-130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.03.010>.
2. Aguilera E., Lassaletta L., Sanz-Cobena A., Garnier J., Vallejo A. The potential of organic fertilizers and water management to reduce N₂O emissions in Mediterranean climate cropping systems. A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2013. Vol. 164. P. 32-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.09.006>
3. Aguilera E., Villar-Molina R., Ruiz-Mirazo J., Álvaro-Fuentes J., González-Aguilera J. Agroforestry systems of woody crops and livestock: A tool for climate change mitigation through carbon sequestration. *Atmosphere*. 2020. Vol. 11, Iss. 12. P. 1289.
4. Albizua A., Williams A., Hedlund K., Pascual U. Crop rotations including ley and manure can promote ecosystem services in conventional farming systems. *Applied Soil Ecology*. 2015. Vol. 95. P. 54-61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.06.003>
5. Blair G. J., Lefroy R., Whitbread A., Blair N., Conteh A. The development of the KMnO₄ oxidation technique to determine labile carbon in soil and its use in a carbon management index. *Assessment methods for soil carbon*. 2001. P. 323-337.
6. Bongiorno G., Bünemann E.K., Oguejiofor C.U., Meier J., Gort G., Comans R. et al. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. *Ecological Indicators*. 2019. Vol. 99. P. 38-50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.008>

7. Bradford, M.A., Carey, C.J., Atwood, L. et al. Soil carbon science for policy and practice. *Nat Sustain* 2. 2019. P. 1070–1072. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0431-y>
8. Busari M. A. et al. Long-term management effects on soil organic carbon, physical properties and maize yield under tillage systems in semiarid West Africa. *Soil Research*. 2017. Vol. 55, no. 5. P. 491-500.
9. Chen S., He F., Zhang X., Sun X., Zheng X., Zheng J. Impacts of organic and inorganic fertilizer application on soil organic carbon accumulation in cropland. *Journal of Soils and Sediments*. 2021. Vol. 21, Iss. 3. P. 1435-1447.
10. Climate-Data.org. Climate Espolla: Temperature, Climate graph, Climate table. 2023. URL: <https://en.climate-data.org/europe/spain/catalonia/espolla-17773/>
11. De Sanctis, G., Roggero, P. P., Seddaiu, G., Orsini, R., Porter, C. H., and Jones, J. W. (2012). Long-term no tillage increased soil organic carbon content of rain-fed cereal systems in a Mediterranean area. *European Journal of Agronomy* 40, 18-27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.02.002>
12. Emran M., Gispert M., Pardini G. Patterns of soil organic carbon, glomalin and structural stability in abandoned Mediterranean terraced lands. *European Journal of Soil Science*. 2012. Vol. 63, Iss. 5. P. 637-649. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2012.01493.x>
13. EU Carbon Farming Schemes. Pathways to scale carbon farming in agriculture. Institute for European Environmental Policy. 2021. URL: <https://ieep.eu/news/>
14. EU Common Agricultural Policy: legislative proposals for the post-2020 CAP. European Commission. URL: https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/new-cap-2023-27_en
15. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Veerman C. et al. Caring for soil is caring for life – Ensure 75% of soils are healthy by 2030 for healthy food, people, nature and climate – Interim report of the mission board for soil health and food. Publications Office. 2020. DOI: <https://data.europa.eu/doi/10.2777/918775>

- 16.FAO 2017. Soil Organic Carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- 17.FAO, ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources. Rome.
- 18.Fourie J.C. Soil organic carbon and vineyard floor management: A South African perspective. South African Journal of Enology and Viticulture. 2011. Vol. 32, no. 1. P. 1-9.
- 19.García-Díaz A. et al. Carbon input threshold for soil carbon budget optimization in eroding vineyards. Geoderma. 2017. Vol. 289. P. 179-187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.02.020>
- 20.Gispert M., Pardini G., Emran M. et al. Seasonal evolution of soil organic matter, glomalin and enzymes and potential for C storage after land abandonment and renaturalization processes in soils of NE Spain. Catena. 2018. Vol. 162. P. 402-413. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.019>
- 21.Hawken P. Regeneration: Ending the climate crisis in one generation. Penguin UK. 2021.
- 22.He Y., Trumbore S.E., Torn M.S., Harden J.W, Vaughn L.J.S., Allison S.D., Randerson J.T. Radiocarbon constraints imply reduced carbon uptake by soils during the 21st century. Science. 2016. Vol. 353, Iss. 6306. P. 1419-1424. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aad4273>
- 23.He Y., Zhou X., Jiang L., Li M., Du Z., Zhou G., Shao J., Wang X., Xu Z., Bai S.H., Wallace H., Xu C. Effects of biochar application on soil greenhouse gas fluxes: a meta-analysis. GCB Bioenergy. 2016. Published 02 June. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12376>.
- 24.Islam K.R., Weil R.R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. Journal of Soil and Water Conservation. 2000. Vol. 55. P. 69-78.
- 25.ISRIC. Procedures for soil analysis. Ed. L.P. van Reeuwijk. International Soil Reference and Information Centre. 2002.

26. Kaiser K., Kalbitz K. Cycling downwards – dissolved organic matter in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 2012. Vol. 52. P. 29-32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.04.002>
27. Kane D. Carbon Sequestration Potential on Agricultural Lands: A Review of Current Science and Available Practices. 2015.
28. Kell D.B. Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plant roots in natural and agricultural ecosystems: why and how. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2012. Vol. 367, Iss. 1595. P. 1589-1597. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0244>
29. Kemper W.D., Rosenau R.C. Aggregate Stability and Size Distribution. In: *Methods of Soil Analysis*. Ed. A. Klute. 1986. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c17>
30. Lal R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Science*. 2009. Vol. 60, no. 2. P. 158-169. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01114.x>
31. Lal R. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2015. Vol. 70, Iss. 3. P. 55A-62A. <https://doi.org/10.2489/jswc.70.3.55A>
32. Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*. 2004. Vol. 123, Iss. 1-2. P. 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>
33. Lasanta T., Valero-Garcés B.L. Geoecology in Mediterranean mountain areas. *Tribute to Professor José María García-Ruiz. Catena*. 2017. Vol. 149, Iss. 3. P. 662-866.
34. López-Piñeiro A., Albarrán Á., Rato Nunes J.M., Barreto C. Short and medium-term effects of two-phase olive mill waste application on olive grove production and soil properties under semiarid mediterranean conditions. *Biomass and Bioenergy*. 2013. Vol. 53. P. 58-65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.051>

35. Lugato E., Panagos P., Bampa F., Jones A., Montanarella L. A new baseline of organic carbon stock in European agricultural soils using a modelling approach. *Global Change Biology*. 2014. Vol. 20, Iss. 1. P. 313-326.
36. Luo G., Li L., Friman V.-P., Guo J., Guo S., Shen Q., Ling N. Organic amendments increase crop yields by improving microbe-mediated soil functioning of agroecosystems: A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*. 2018. Vol. 124. P. 105-115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.06.002>.
37. Luo, Z., Wang, E., Sun, O. J. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agriculture, ecosystems and environment*. 2010. 139(1-2). P. 224-231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.08.006>
38. Magdoff, F., Weil, R.R. Soil organic matter management strategies. *Advances in Agronomy*, 2020. Vol. 144. Academic Press. P. 1-96.
39. Mekuria, W., and Aynekulu, E. Exclosure land management for restoration of the soils in degraded communal grazing lands in northern Ethiopia. *Land Degradation and Development*. 2013. 24(6). P. 528-538. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.1146>
40. Miltner, A., Bombach, P., Schmidt-Brücken, B., and Kästner, M. (2012). SOM genesis: microbial biomass as a significant source. *Biogeochemistry*. 2012. 111(1), P. 41-55. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9658-z>
41. Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A., Field, D. J. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*. 2017. 292, P. 59-86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>
42. Morlat, R., and Jacquet, A. (2003). Grapevine root system and soil characteristics in a vineyard maintained long-term with or without interrow sward. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2003. 54(1). P. 1-7.
43. National Strategy and action plan to combat Desertification. Jordan, Ministry of Environment, 2006. 114 p. URL:

<https://www.unccd.int/sites/default/files/naps/2018-07/Turkey%20Strategy%20and%20Action%20Plan.pdf>

44. Nayak A.K., Gangwar B., Shukla A.K., Mazumdar S.P., Kumar A., Raja R., Kumar A., Kumar V., Rai P.K., Mohan U. Long-term effect of different integrated nutrient management on soil organic carbon and its fractions and sustainability of rice–wheat system in Indo Gangetic Plains of India. *Field Crops Research*. 2012. Vol. 127. P. 129-139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.11.011>.
45. Novara, A., Gristina, L., Saladino, S. S., Santoro, A., and Cerdà, A. Soil erosion assessment on tillage and alternative soil managements in a Sicilian vineyard. *Soil and Tillage Research*. 2015. 150. P. 107-115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.09.007>
46. Parras-Alcántara, L., Lozano-García, B., Keesstra, S., Cerdà, A., and Brevik, E. C. Long-term effects of soil management on ecosystem services and soil loss estimation in olive grove top soils. *Science of the Total Environment*, 2016. 571. P. 498-506. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.016>
47. Paustian, K., Larson, E., Kent, J., Marx, E., and Swan, A. Soil C sequestration as a biological negative emission strategy. *Frontiers in Climate*, 2019. 1, 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fclim.2019.00008>
48. Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P., and Smith, P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*. 2016. 532(7597). P. 49-57. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature17174>
49. Pellegrino, E. et al.. Impact of compost application on soil CO₂ emissions in a hilly vineyard in Verduno, northwest Italy. *Journal of Soils and Sediments*. 2018. 18(1). P. 22-30.
50. Poeplau, C., and Don, A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—A meta-analysis. *Agriculture, ecosystems and environment*. 2015. 200. 33-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>

51. Porta, J., López-Acevedo, M., Poch, R.M. (2008). *Introducció a l'Edafologia. Ús i protecció de sòls*. Ediciones Mundi-Prensa.
52. Rajkovich, S. R., Erickson, C., Rajkovich, N., Bandopadhyay, A., Smucker, A., Merz, B., Xu, J. Organic amendments for soil health, carbon sequestration, and reducing environmental impacts of specialty crop production: a review. *HortScience*. 2021. 56(2), 141-171.
53. Regenerative organic agriculture and climate change. Kutztown: Rodale Institute. 2004. URL: <https://rodaleinstitute.org/wp-content/uploads/rodale-white-paper.pdf>
54. Rosenzweig, S. T., Fonte, S. J., and Schipanski, M. E. (2020). Intensifying rotations increases soil carbon, fungi, and aggregation in semiarid agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2020. 295. P. 106-883. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.016>
55. Rumpel, C., Amiraslani, F., Chenu, C., Garcia Cardenas, M., Kaonga, M., Koutika, L. S., Wollenberg, E. (2020). The 4p1000 initiative: Opportunities, limitations and challenges for implementing soil organic carbon sequestration as a sustainable development strategy. *Ambio*. 2020. 49(1), P. 350-360. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01165-2>
56. Rumpel, C., Chabbi, A. and Marschner, B. Carbon Storage and Sequestration in Subsoil Horizons: Knowledge, Gaps and Potentials. In: R. Lal et al. eds. *Recarbonization of the Biosphere*. Dordrecht, The Netherlands: Springer. 2012. P. 445-464.
57. Sanz-Cobena, A., Lassaletta, L., Aguilera, E., Prado, A. d., Garnier, J., Billen, G., Guardia, G. Strategies for greenhouse gas emissions mitigation in Mediterranean agriculture: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2017. 238. P. 5-24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.038>
58. Soil Quality Indicators. Bulk Density. USDA. June 2008. URL: <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2023-01/Soil%20Quality-Indicators-Bulk%20Density.pdf>

59. Soil Quality Indicators. Soil Electrical Conductivity. USDA. December 2011. URL: <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Soil%20Electrical%20Conductivity.pdf>
60. Soil Quality Indicators/ Soil pH. USDA. April 2011. URL: https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/soil_ph.pdf
61. Sommer, R., and Bossio, D. Dynamics and climate change mitigation potential of soil organic carbon sequestration. *Journal of environmental management*. 2014.144. P. 83-87. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.017>
62. Steenwerth K., Belina K.M. Vineyard weed management practices influence nitrate leaching and nitrous oxide emissions. *Agriculture, ecosystems and environment*. 2008. vol. 127, № 1-2. P. 102-110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.03.016>
63. Steinbeiss, S., Temperton, V. M., and Gleixner, G. Mechanisms of short-term soil carbon storage in experimental grasslands. *Soil Biology and Biochemistry*. 2008. 40(10). P. 2634-2642. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.07.007>
64. The European Green Deal. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/#what>
65. Trumbore, S. Radiocarbon and soil carbon dynamics. *Annual Review of Earth Planetary Sciences*. 2009. 37. P. 47-66. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.36.031207.124300>
66. Wang W., Zhong Z., Wang Q. et al. Glomalin contributed more to carbon, nutrients in deeper soils, and differently associated with climates and soil properties in vertical profiles. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. Art. 13003. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12731-7>.
67. Weil, R. R., Kandikar R. I., Stine M.A., Gruver J. B., Samson-Liebig S. E. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *Am. J. Alternative Agric*. 2003. 18(1). P. 3-17.
68. Weil, R.R. and Brady, N.C. *The Nature and Properties of Soils*. 2017. 15th Edition, Pearson, New York.

69. Wiesmeier, M., Poeplau, C., Sierra, C. et al. Projected loss of soil organic carbon in temperate agricultural soils in the 21st century: effects of climate change and carbon input trends. *Sci Rep* 6, 32525 (2016). DOI: <https://doi.org/10.1038/srep32525>
70. Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobbey, E., Lang, B., von Lützow, M., Marin-Spiotta, E., Kögel-Knabner, I. (2019). Soil organic carbon storage as a key function of soils-A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma*. 2019. 333. P. 149-162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.026>
71. Wright, S. F., Upadhyaya, A. (1996). Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Science*, 161(9), 575–586.
72. Xiang X., Liu J., Zhang J., Li D., Xu C., Kuzyakov Y. Divergence in fungal abundance and community structure between soils under long-term mineral and organic fertilization. *Soil and Tillage Research*. 2020. Vol. 196. Art. 104491. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104491>.
73. Драган, І. М. (2015). Формування врожайності та якості винограду залежно від елементів живлення. *Садівництво: міжвід. темат. наук. зб*, 69, 63-69.
74. Закон України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів». *Відомості Верховної Ради*, 48, ст.416. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/377-20#Text>
75. Кабінет охорони праці. Сервіс для всіх працівників UdG. URL: <https://www.udg.edu/es/salutlaboral/>
76. Калькулятор текстури ґрунту. URL: <https://agritechcenter.com.np/soil-calculator.html>
77. Картографічно-геологічний інститут Каталонії. URL: <https://www.icgc.cat/ca/>
78. Конституція Іспанія. URL: [https://www.boe.es/eli/es/c/1978/12/27/\(1\)/con](https://www.boe.es/eli/es/c/1978/12/27/(1)/con)

79. Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 грудня 2016 р. No 932-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/932-2016-p#Text>
80. Концепція розвитку фермерських господарств та сільськогосподарської кооперації на 2018-2020 роки. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 13 вересня 2021 р. No 1061-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1061-2021-p#Text>
81. Лиховид, П., Тарасенко, Л., Козловська, Т. (2017). Вплив обробітку ґрунту на ерозійні процеси у винограднику нахилу 15°. Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН», 4, 34–43.
82. Метеорологічна служба Каталонії. URL: <https://www.meteo.cat/>
83. Пузік, Л. М., Олефіренко, В. Т., Першакова, Т. В. (2017). Вплив добрив на продуктивність насаджень винограду сорту Рислінг Рейнський в умовах Правобережного Лісостепу України. Вісник Уманського національного університету садівництва, 1, 28-32.
84. Уряд запустив програму компенсації фермерам частини витрат на придбання техніки для консервуючого землеробства та органічного виробництва. Урядовий портал, 15 грудня 2022. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/uryad-zapustiv-programu-kompensaciyi-fermeram-chastini-vitrat-na-pridbannya-tehniki-dlya-konservuyuchego-zemlerobstva-ta-organichnogo-virobnictva>

Додаток А. Виноградники м. Асполя, Іспанія

