

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

Факультет природничих наук

Кафедра хімії

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему:

**«Роль вмісту та якості гумусу в підтриманні родючості ґрунтів
та охороні довкілля»**

Студентки IV курсу, групи X-41

спеціальності 102 Хімія

Гуцул Л.В.

Керівник: доцент кафедри, к.т.н.

Федорченко С.В.

Національна шкала:

Університетська шкала:

Оцінка ECTS:

Члени комісії: _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Івано-Франківськ-2025

Гуцул Л.В. Роль вмісту та якості гумусу в підтриманні родючості ґрунтів та охороні довкілля. – Дипломна робота за спеціальністю 102 “Хімія”. – Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника. – Івано-Франківськ, 2025. – ... с.

Дипломна робота є рукописом, в якому наведено огляд літератури з питань використання гумінових речовин у сільському господарстві, зокрема їхньої ролі в підвищенні родючості ґрунтів та покращенні екологічного стану. Розглянуто будову та властивості гумінових кислот і їхніх солей - гуматів, зосереджено увагу на їх походженні, функціях у ґрунті та можливостях застосування як біоактивних добрив.

Дипломна робота складається з вступу, літературного огляду, експериментальної частини, висновків, і списку використаних джерел інформації. Вміст курсової роботи викладено на ... сторінках.

Ключові слова: гумус, гумінові речовини, гумінові кислоти, фульвокислоти, гумати.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	9
1.1 Гумінові речовини як основний компонент гумусу	9
1.1.1 Гумінові кислоти	11
1.1.2 Фульвокислоти	13
1.1.3 Гумін	14
1.1.4. Прогумінові речовини	15
1.2 Забруднення важкими металами	15
1.3. Гумати	19
1.3.1. Механізм утворення	19
1.3.2 Типи гуматів	21
1.4. Вплив гуматів на врожайність	22
1.4.1. Вирощування картоплі	22
1.4.2. Вплив гумату калію на бобові культури	23
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	34
2.1 Методика отримання гумата	34
ВИСНОВКИ	35

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасне сільське господарство дедалі більше стикається з проблемами зниження родючості ґрунтів, низької ефективності використання добрив та деградації ґрунтових ресурсів. Забезпечення стабільної врожайності культур при мінімальному застосуванні агрохімікатів є одним із ключових викликів у контексті продовольчої безпеки та екологічної стійкості. Гумус є однією з ключових складових ґрунту, що визначає його родючість, екологічну стабільність та агрономічну цінність. Він утворюється в результаті складного багатоступеневого процесу трансформації органічних залишків під впливом фізико-хімічних і мікробіологічних факторів. Гумус є гетерогенною сумішшю органічних сполук, серед яких переважають гумінові речовини, що складають до 80-90% всієї органічної речовини гумусового горизонту. Саме вони формують основу стабільної частини гумусу та забезпечують його унікальні властивості: високу сорбційну здатність, здатність до утворення колоїдних систем, буферну ємність і довготривалу біологічну активність у ґрунтовому середовищі.

Низька ефективність використання поживних речовин залишається однією з основних проблем сучасного сільського господарства, особливо при застосуванні традиційних мінеральних добрив. За даними численних досліджень, середній рівень засвоєння елементів живлення рослинами коливається в межах: азот 30-60%, фосфор 10-30%, калій 40-60%, мікроелементи <10-20% залежно від умов вирощування, типу ґрунту, форми добрива та технології його внесення. Це призводить до великих втрат поживних речовин із дорогих хімічних добрив, забруднення ґрунту, води та атмосфери, зокрема, вимиванням нітратів у ґрунтові та поверхневі води.

Необхідність забезпечення високої врожайності культур при мінімальному застосуванні агрохімікатів стимулює пошук альтернативних методів, орієнтованих на збереження та підвищення родючості ґрунтів.

Об'єктом дослідження є буре вугілля як сировина для синтезу гумата, **предметом** – роль вмісту гумусу в ґрунтах та вплив гуматів на підвищення їх родючості.

Мета роботи: вивчити теорію й практику методів отримання гуматів. Виходячи з поставленої нами мети можна сформулювати такі завдання:

1. Розглянути літературні джерела з питань впливу гумінових речовин на родючість ґрунтів.
2. Провести синтез.

Методи досліджень. У роботі використані методи інформаційного пошуку та аналізу даних літератури, зокрема нормативних документів із отримання гумату з бурого вугілля.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема роботи затверджена на засіданні кафедри хімії (протокол №1 від 18.10.24).

Особистий внесок здобувача: огляд і аналіз літературних джерел, підготовка і комп'ютерний набір матеріалу, виконання експериментальних досліджень, формулювання висновків, написання та оформлення тексту рукопису.

Структура та обсяг роботи. Курсова робота складається із вступу, 2 розділів, висновків та списку використаної літератури. Повний обсяг роботи складає 35 сторінок, вказано 41 джерело використаної літератури.

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Гумінові речовини як основний компонент гумусу

Гумінові речовини є компонентами гумусу і, як такі, являють собою високомолекулярні сполуки, що разом формують бурі до чорних гідрофільних, молекулярно гнучких поліелектролітів, які називають гумусом.

За агрохімічними нормами, оптимальний вміст гумусу має становити 3,2-4,5% для ґрунтів південних регіонів та 5,0-7,0% для західних та центральних регіонів. За даними на 2020 рік, фактичний середній вміст гумусу в ґрунтах України знизився до 1,8-2,4%, що свідчить про зниження родючості. Згідно з ДСТУ 4362:2004, ґрунти поділяються за вмістом гумусу:

- дуже низький: <1,1%;
- низький: 1,1–2,0%;
- середній: 2,1–3,0%;
- підвищений: 3,1–4,0%;
- високий: 4,1–5,0%;
- дуже високий: >5,0%.

Багато компонентів гумусу - це гетерогенні, відносно великі стабільні органічні комплекси. Вони виконують важливі функції в ґрунті: забезпечують його структуру, пористість, водоутримувальну здатність, катіонний і аніонний обмін, а також беруть участь у хелатуванні мінеральних елементів.

Елементний аналіз гумінових речовин показує, що вони складаються з вуглецю, кисню, водню, азоту та сірки, які утворюють складні вуглецеві ланцюги (аліфатичні компоненти, що становлять приблизно 40–50% від загальної маси), а також 4-, 5- і 6-членні вуглецеві кільця (ароматичні компоненти, що становлять 35–60% загального складу) з такими групами, як C–C, C–N і C=O.

Попередні уявлення про те, як формуються гумінові речовини, ґрунтуються на чотирьох опублікованих теоріях:

- Модифікація лігніну;

- Взаємодія хінонів з амінокислотами;
- Мікробіальний синтез ароматичних сполук;
- Реакція Маяра (послідовність реакцій між цукрами та амінокислотами).

Кожна з цих теорій описує складні біотичні та абіотичні реакції, під час яких різноманітні органічні сполуки такі як фенольні сполуки (наприклад, лігніни), складні вуглеводи та азотвмісні речовини ресинтезуються у великі складні полімери. Для того щоб ці полімеризаційні реакції відбувалися, необхідна присутність неорганічних мінеральних каталізаторів. Тому наявність мікроелементів є необхідною умовою для формування гумінових речовин. Надзвичайна варіативність молекулярної будови гумінових речовин пов'язана з вихідними сполуками та умовами навколишнього середовища, за яких вони утворювались.

Гумінові речовини містять широкий спектр молекулярних компонентів. Типовими є: полісахариди, жирні кислоти, поліпептиди, лігніни, ефіри, феноли, етери, карбоніли, хінони, ліпіди, пероксида, різноманітні комбінації бензольних, ацетальних, кетальних, лактольних і фуранових кілець, а також аліфатичні (вуглецеві ланцюги) сполуки. Окисне розкладання деяких гумінових речовин призводить до утворення аліфатичних, фенольних і бензойнокарбонових кислот, а також нормальних алканів і нормальних жирних кислот. Основні фенольні кислоти, які при цьому виділяються, містять приблизно три гідроксильні ($-OH$) групи та від однієї до п'яти карбоксильних ($-COOH$) груп [1].

Гумінові речовини поділяють на три основні фракції:

- Гумінові кислоти;
- фульвокислоти;
- гумін.

Цей поділ є умовним і базується на розчинності кожної з фракцій у воді за різного кислотного-лужного (pH) середовища.

1.1.1 Гумінові кислоти

Гумінові кислоти (ГК) – це макромолекули, що входять до складу гумінових речовин (ГР), які є органічною речовиною, що міститься в ґрунтах, природних водах та осадах. ГК відрізняються від інших фракцій ГР (фульвокислоти та гумінів) тим, що вони розчиняються в лужних середовищах, частково розчиняються у воді та не розчиняються в кислих середовищах. Завдяки своєму амфіфільному характеру ГК утворюють міцелоподібні структури в нейтральних та кислих умовах, які є корисними в сільському господарстві.

Гумінові кислоти мають невизначений склад, який варіюється залежно від походження, процесу отримання та функціональних груп, присутніх у їх структурі, таких як хінони, феноли та карбонові кислоти. Хінони відповідають за утворення активних форм кисню в ГК, які мають фунгіцидні/бактерицидні властивості. Феноли та карбонові кислоти депротонуються в нейтральному та лужному середовищі і відповідають за різні інші функції, такі як антиоксидантні властивості ГК. Зокрема, наявність фенольних груп у ГК забезпечує антиоксидантні властивості завдяки їхній здатності поглинати вільні радикали.

Гумінові кислоти є важливими факторами родючості ґрунту. Вони покращують структуру ґрунту завдяки своїй здатності розпушувати, збільшувати утримання вологи, сприяти мікробіологічній активності та поглинати сонячне тепло. Їхня здатність утворювати стабільні комплекси з ґрунтовими мінеральними колоїдами, завдяки високій насиченості функціональними групами, знижує ризик вимивання, роблячи їх активними в ґрунтовому середовищі протягом тривалого часу.

ГК може сприяти синтезу та/або активності білків і ферментів у різних органах рослин [2], природну ГК можна вважати ефективним екологічним інструментом для підвищення стійкості рослин до посухового стресу.

Гумінові кислоти покращують стійкість рослин в умовах посухи за допомогою механізму, подібного до дії фітогормонів, де ГК може різко

стимулювати H^+ -АТФазу в рослинах [3,4]. Крім того, ГК індукує активність фенілаланін/тирозин-аміакліази (КФ 4.3.1.5), яка є частиною фенілпропаноїдного шляху. Фенілпропаноїди допомагають у біосинтезі молекул, важливих для сигналізації про стрес. Гумінові кислоти мають антиоксидантний механізм і можуть поглинати АФК, тим самим підвищуючи стійкість рослин до стресових умов [5,6]. Гумінові кислоти індукують розпізнавання гормональними рецепторами в рослинах і активують вироблення захисних метаболітів [7]. Shen та ін. (2020) оцінили вплив ГК на фізіологічну та фотосинтетичну поведінку проростків проса в умовах посушливого стресу і виявили, що ГК сприяла росту проростків шляхом покращення осмотичної регуляції, антиоксидантної здатності та швидкості фотосинтезу проростків. Присутність ГК також збільшувала чисту продуктивність фотосинтезу (P_n) і зменшувала інтенсивність транспірації пшениці в умовах посухового стресу [8]. Lotfi та ін. (2018) виявили, що ГК покращує P_n *Brassica napus* (ріпак) в умовах посухового стресу за рахунок збільшення швидкості газообміну та потоку транспорту електронів [9].

Гумінові кислоти в даний час визнані цінним високомолекулярним компонентом органічного гною. Кілька дослідницьких груп показали, що через велику кількість активних карбоксильних, карбонільних, фенольних гідроксильних та аміногруп у складі ГК, ГК легко зв'язується з важкими металами шляхом адсорбції, комплексоутворення та окисно-відновних реакцій [10-12]. Гумінові кислоти також можуть змінювати морфологію ґрунту та обмежувати рух важких металів у ґрунті [13]. Вона може опосередковано контролювати рух і біотрансформацію важких металів шляхом регулювання мікроорганізмів, присутніх у ризосфері, а також шляхом зміни складу позаклітинних секретів [14]. Кілька досліджень виявили, що ГК діє як хелатор металів і зменшує рухливість і біодоступність важких металів у ґрунті, тим самим зменшуючи їх накопичення в рослинах. Inaba і Takenaka (2005) вивчали вплив ГК на токсичність Cu і виявили, що додавання ГК

зменшує вміст Cu в проростках салату, тим самим значно знижуючи його токсичність для цієї рослини [15].

Гумінові кислоти є основним компонентом ГР. Вони стимулюють ріст рослин (Yildirim, 2007), сприяють поглинанню поживних речовин (Katkat та ін., 2009) і впливає на вторинний метаболізм рослин. Гумінові кислоти відіграють важливу роль у біогеохімічних циклах більшості важких металів (наприклад, Cd, Zn і Mn) та у їх фітоаккумуляції через сильний негативний заряд цієї молекули. Коли ГК застосовували як стимулятор росту рослин, він показав кілька позитивних ефектів на рослини, що зазнали впливу важких металів. Однак через неоднорідність ґрунту та складну природу механізм взаємодії між та важкими металами до кінця не з'ясований.

Тому вміст ГК є одним з ключових показників родючості. Природний процес утворення ГК є тривалим і ледве компенсує втрати, спричинені сільськогосподарським виробництвом. Гумінові кислоти можна видобувати з бурого вугілля, торфу та сапропелю, ця сировина є невідновлюваними ресурсами, а процес видобутку не є екологічно безпечним.

1.1.2 Фульвокислоти

Фульвокислоти (ФК) – це суміш слабких аліфатичних та ароматичних органічних кислот, які залишаються розчинними у воді за всіх значень рН (кислого, нейтрального або лужного). Молекули фульвокислоти менші за розміром порівняно з гуміновими кислотами (ГК), а їхня молекулярна маса зазвичай становить від 1000 до 10000.

Фульвокислоти містять вдвічі більше атомів кисню, ніж гумінові кислоти, та характеризуються високою концентрацією карбоксильних ($-\text{COOH}$) та гідроксильних ($-\text{OH}$) функціональних груп, що визначає їхню підвищену хімічну реакційну здатність. Катіонообмінна ємність фульвокислот більш ніж удвічі перевищує ємність гумінових кислот, що пов'язано з кількістю карбоксильних груп.

Дослідження зразків фульвокислот, отриманих з різних джерел, не виявили наявності метоксильових ($-\text{CH}_3$) груп. Також було виявлено, що вони містять меншу кількість фенольних структур і характеризуються нижчим рівнем ароматичності порівняно з гуміновими кислотами того ж походження.

Завдяки своєму малому розміру молекули фульвокислот здатні легко проникати в кореневу систему, стебла та поверхню листя рослин, забезпечуючи транспортування мікроелементів з поверхні до внутрішніх тканин. У зв'язку з цим фульвокислоти є ключовими компонентами високоякісних позакорневих добрив. Використання хелатів фульвокислот мікроелементів у вигляді позакорневих обприскувань під час критичних фаз росту може бути ефективним агротехнічним інструментом для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур.

Досягнувши поверхні листя, фульвокислоти забезпечують транспортування мікроелементів безпосередньо до метаболічно активних ділянок клітин. Вони є найефективнішими відомими хелатними сполуками на основі вуглецю, що характеризуються високою сумісністю з рослинами та відсутністю токсичності при використанні в низьких концентраціях [16].

1.1.3 Гумін

Гумін – це та частина гумінових речовин, яка не розчиняється в лузі і не розчиняється в кислоті. Гуміни не розчиняються у воді при будь-якому значенні рН. Гумінові комплекси вважаються макроорганічними речовинами, оскільки їх молекулярна маса коливається від приблизно 100 000 до 10 000 000. Для порівняння, молекулярна маса вуглеводів (складних цукрів) коливається від приблизно 500 до 100 000 [17]. Хімічні та фізичні властивості гумінів вивчені лише частково. Гуміни, які присутні в ґрунті, є найбільш стійкими до розкладу (повільно розпадаються) серед усіх гумінових речовин. Деякі з основних функцій гумінів у ґрунті полягають у поліпшенні водоутримуючої здатності ґрунту, поліпшенні структури ґрунту, підтримці стабільності ґрунту, функціонуванні як система катіонного обміну та

загальному поліпшенні родючості ґрунту. Завдяки цим важливим функціям гумін є ключовим компонентом родючих ґрунтів.

1.1.4. Прогумінові речовини

Прогумінові речовини – це високомолекулярні залишки відмерлих організмів і продукти життєдіяльності та линьки живих організмів, що утворюються при окисній полімеризації фенольних сполук, включаючи азотовмісні сполуки.

1.2 Забруднення важкими металами

Забруднення ґрунтів важкими металами є глобальною екологічною проблемою. Окрім природних високих фонових концентрацій деяких важких металів, антропогенна діяльність, така як шахти, ливарні заводи, металургійні комбінати, призводить до забруднення ґрунтів, зрошення стічними водами та фосфорні добрива, багаті на Cd (Ali et al., 2013; Nagajyoti et al., 2010), сприяють забрудненню ґрунтів важкими металами. На відміну від органічних забруднювачів, важкі метали не піддаються біологічному розкладанню. Таким чином, вони можуть легко накопичуватися в ґрунтовому середовищі і впливати на здоров'я людини через харчові ланцюги (Gall et al., 2015; Liu et al., 2013).

ГР можна використовувати як рідкий вилуговувач або твердий адсорбент для катіонних або аніонних важких металів, щоб змінити їхню іммобілізацію, мобілізацію та окисновідновні реакції і зменшити їхні концентрації, хімічні форми та біодоступність (Болан та ін., 2014; Цзян та ін., 2014; Джонс і Хуанг, 2003; Мен та ін., 2017b, 2017c).

Як описано раніше, ГР є складною сумішшю органічних речовин з широким діапазоном молекулярних мас. ГР з низькою молекулярною масою мають високу розчинність, а ГР з високою молекулярною масою менш розчинні, особливо при нейтральному рН. Таким чином, залежно від молекулярної маси, ГР можна використовувати як іммобілізуючий агент.

Імобілізація - це процес перетворення важких металів з біологічно доступних форм (наприклад, обмінної фракції) у стабільні форми. Це часто є менш дорогим методом відновлення слабозабруднених ґрунтів без зміни цільового призначення землі. ГР є ефективним адсорбентом для катіонів важких металів. При використанні в якості агента для іммобілізації важких металів кислотні функціональні групи (карбоксильні та фенольні) ГР відіграють життєво важливу роль через адсорбцію, комплексоутворення та хелатування (Kang et al., 2011; Tan, 2014). У зв'язку з цим вміст карбоксилів у ГР є особливо важливим (Shi et al., 2018; SolereRovira et al., 2010).

Наприклад, Meng та ін. (2017b) показали, що ГК має високу здатність зв'язувати Cd^{2+} через карбоксильну групу і, таким чином, значно знижує доступність Cd у ґрунті. Ondrasek та ін. (2018) виявили, що ГК контролює рухому вільну фракцію катіонів важких металів і зменшує поглинання металів рідькою, не спричиняючи фітотоксичності. Khan et al. (2017) повідомили, що ГК зменшує біодоступність Cd та збільшує біомасу, зменшуючи ризик харчової токсичності для здоров'я людини. Варто підкреслити, що вплив ГР на фракції металів суттєво впливає рН ґрунту.

Yang та ін. (2013) виявили, що ГК зменшує доступність Cd і Pb та їх поглинання тютюном у кислому ґрунті, але не в лужному. Взаємодія між ГР та важкими металами впливає на хімічні форми металів у ґрунтовому середовищі, таким чином контролюючи їхню мобільність, токсичність та біодоступність. Чжоу та ін. (2018) виявили, що ГК зменшує легкодоступну фракцію Cu, Pb і Cd і збільшує фракцію відновлення/окислення, таким чином зменшуючи ризик для здоров'я людини, спричинений металами. Аналогічно, Burlakovs та ін. (2013) повідомили, що ГР трансформували Cu і Pb з фракцій вільного обміну в стабільні фракції.

На відміну від іммобілізації, мобілізація є іншим засобом відновлення забрудненого ґрунту шляхом видалення важких металів з ґрунту (Болан та ін., 2014), таким чином назавжди усуваючи їхні ризики для довкілля та здоров'я. Для цього добре підходять розчинні ГР з низькою молекулярною масою.

Будучи природними поверхневоактивними речовинами, розчинні ГР можна розглядати як носії важких металів, що сприяють їхньому переміщенню. Мен та ін. (2017с) виявили, що розчинні ГР ефективно знижують вміст Cd у забруднених ґрунтах до рівня, нижчого за гранично допустимий для сільськогосподарських угідь. Розчинні ГР мають подібний вплив на інші важкі метали, такі як Cu, Ni, Zn і Pb, та металоїди, такі як As (Kulikowska та ін., 2015; Yang і Hodson, 2019). Розчинні ГР є дуже перспективним природним агентом для вимивання важких металів із забруднених ґрунтів. Вони особливо підходять для швидкого відновлення забруднених важкими металами земель, таких як промислові майданчики. У процесі промивання функціональні групи (наприклад, карбоксильні) ГР мали очевидний вплив на ефективність видалення важких металів (Meng et al., 2017с; Yang and Hodson, 2019). Зрештою, промивні стоки можуть бути оброблені для вилучення важких металів, що дозволяє уникнути ризику вторинного забруднення. Meng та ін. (2017с) застосували невелику дозу $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в якості очисного агента для того, щоб промивні стоки відповідали вимогам до скидів.

Третій спосіб використання ГР для рекультивації ґрунтів - це зміна валентності металу з високотоксичних іонів на менш токсичні. Функціональні групи ГР можуть віддавати або приймати електрони, і на токсичність/рухливість деяких металів суттєво впливає ступінь окислення. Наприклад, U(VI) і Cr(VI) мають вищу токсичність/рухливість, ніж U(IV) і Cr(III), тоді як As(III)/Sb(III) більш токсичний, ніж As(V)/Sb(V). У ґрунті ГР можуть впливати на токсичність/рухливість цих багатовалентних важких металів через окисновідновні реакції. Fe_3O_4 , покритий ГК, ефективно адсорбує і відновлює токсичний Cr(VI) до нетоксичного Cr(III) (Jiang et al., 2014). Карбоксильні групи ГК адсорбуються і комплексоутворюються з Cr(VI) та фенольними ОН, гідроксильними і метильними групами, віддаючи електрони для відновлення Cr(VI) до Cr(III) (Zhang et al., 2018). Gu і Chen (2003) повідомили, що ГК посилюють біологічне відновлення U(VI) до U(IV), зменшуючи його біодоступність і токсичність. У природних умовах ГВ

підвищують токсичність As і Sb через перетворення As(V)/Sb(V) в As(III)/Sb(III) і сповільнюють перетворення As(III)/Sb(III) в As(V)/Sb(V) (Neppolian et al., 2010; Palmer and von Wandruszka, 2010; Warwick et al., 2005).

Реакція фотоопромінення є ефективним методом зниження токсичності As/Sb шляхом окислення As(III)/Sb(III) до As(V)/Sb(V). Бушманн та ін. (2005a,b) вивчали реакцію фотоопромінення окислення As(III)/Sb(III) до As(V)/Sb(V) і виявили, що НА збільшує швидкість окислення в реакції фотоопромінення.

Крім того, ГР часто використовують у поєднанні з іншими технологіями для відновлення забруднених важкими металами ґрунтів. У своїх експериментах з фітоекстракції Cd Evangelou та ін. (2004) виявили, що ГР посилюють поглинання Cd пагонами рослин, оскільки кислі ГР підвищують доступність Cd і складних фрагментів Cd-HS для поглинання рослинами. Vargas та ін. (2016) повідомили, що ГР посилюють фіторе mediaцію Cu травною ветивера через утворення розчинних металоорганічних комплексів, але не для Zn. Bai та ін. (2019) виявили, що молекулярна маса ГР є ключовим фактором впливу на біодоступність металів: низькомолекулярні ГР підвищували біодоступність Pb(II) для водоростей, тоді як високомолекулярні ГР мали інгібуючий вплив. Це може бути пов'язано з тим, що перші мають високу мобільність, а отже збільшуючи біодоступність Pb, тоді як останній утворював комплекси з Pb, недоступні для рослин. Деякі дослідження показали, що ГР посилюють електроре mediaцію забруднених важкими металами ґрунтів, що може бути пов'язано з підвищеною рухливістю важких металів у присутності ГР (Bahemmat et al., 2016; Sawada et al., 2003).

ГР є перспективним агентом для відновлення забруднених важкими металами ґрунтів. Залежно від розчинності ГР, ступеня забруднення ґрунту і ступеня окислення важких металів, їх можна використовувати як стабілізатор важких металів. Нерозчинні ГР можуть слугувати стабілізаторами катіонів металів (наприклад, Cd^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} і Cu^{2+}), тоді як розчинні ГР можуть бути засобами для видалення важких металів із забрудненого ґрунту. ГР як

засіб для перенесення електронів зазвичай працює для багатовалентних металів/металоїдів, наприклад, Cr, As, U і Sb.

1.3. Гумати

1.3.1. Механізм утворення

Гумати – солі гумусових кислот, які утворюються в ґрунті в результаті розкладання клітковини рослин. Основними джерелами для отримання гумусових речовин є торф і буре вугілля, що відрізняються високим їх вмістом, внаслідок чого вони є головним джерелом для отримання гуматів. Гумінові речовини в ґрунтах містяться в різних кількостях. В середньому рівень вмісту 1-15%, вміст в торфі – 20-50%, в сапропелі – 9-60%, а в бурому вугіллі – близько 85%. У чорноземі вміст гумінових речовин близько 12%.

Вважається, що гумінові кислоти є складними ароматичними макромолекулами з амінокислотами, аміноцукром, пептидами, аліфатичними сполуками, що беруть участь у зв'язках між ароматичними групами. Гіпотетична структура гумінової кислоти, показана на рисунку 1, містить вільні та зв'язані фенольні групи OH, хінонові структури, азот і кисень як мостикові одиниці та групи COOH, по різному розміщені на ароматичних кільцях.

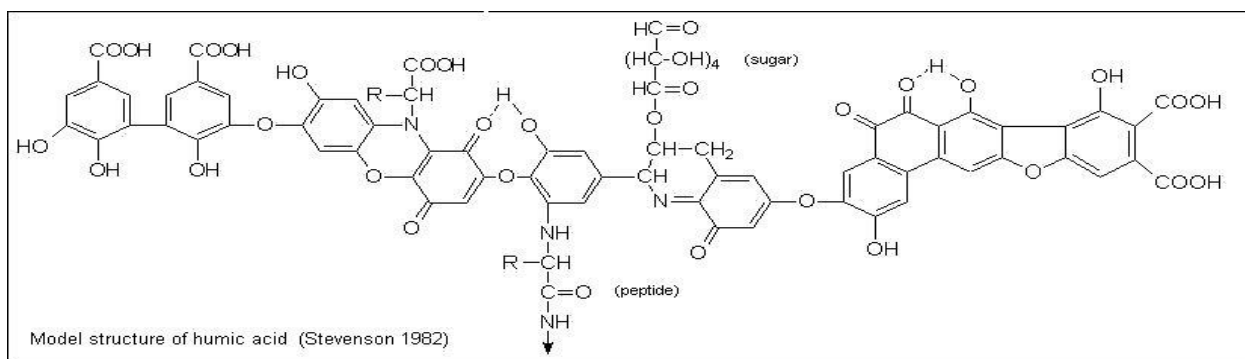


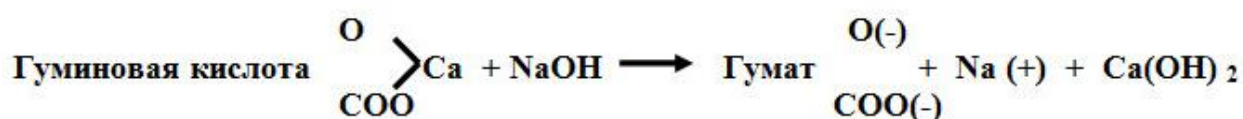
Рис. 1

Повне уявлення про будову цих сполук дає наукова стаття Д.А. Князева зі співавторами. На основі моделі Шульте-Шніцера встановлено, що мономер (фрагмент) гумінової кислоти має загальну формулу $\text{C}_{305}\text{H}_{299}\text{N}_{16}\text{O}_{134}\text{S}$ з молекулярною масою 6364. Формула складається з 26 карбоксильних груп

(COOH), 34 фенольних і OH-груп, 6 аміногруп (NH₂), а також 7 гетероциклічних атомів азоту. Молекула може містити від 2 до 15 таких фрагментів, сформованих у ланцюжок з вуглеводневими або хімічними зв'язками, які природним чином згорнуті в конгломерати. Ці конгломерати утворюють великі агрегати, які формують органічну частину ґрунту. Розмір таких агрегатів досягає 150 Ангстрем, що перешкоджає їх проникненню через клітинну мембрану. Тому в природних умовах лише невелика частина гумусових речовин - крихти фрагментів молекул, що утворилися в результаті хімічних реакцій в ґрунтовому розчині або під дією мікроорганізмів, може потрапити в клітину і діяти як стимулятор росту і розвитку рослин.

В природних каустобіолітах ГК знаходяться в локалізованому стані. Вони вступають в комплекси, утворюючи нерозчинні сполуки з Ca, Mg, Fe, Al та іншими мінеральними компонентами. Їх молекули практично нерозчинні і нерухомі, а функціональні групи заблоковані, що не дозволяє ГК повністю проявляти свою активність у ґрунті, торф яних добривах і меліорантах.

Внаслідок поганої розчинності в воді біологічна активність природних гумінових кислот дуже мала, і саме тому для забезпечення родючості ґрунту вміст гумусу в ній повинно бути достатньо високим. Обробка природних гумінових комплексів лужними агентами переводить їх у водорозчинні солі - гумати натрію або калію по схемі:



Як видно зі схеми, обробка лужними агентами призводить до заміщення катіонів металів (Ca, Mg, Fe, Al тощо) на Na або K, що змінює хімічні властивості гумінових кислот (ГК). У результаті подальшої дисоціації функціональні групи набувають однакового заряду, спричиняючи електростатичне відштовхування між частинами молекули. Це сприяє розгортанню клубка в довгий ланцюг, який вже здатен проникати через

клітинну мембрану і потрапляти всередину клітини. Така трансформація значно підвищує біологічну активність молекул ГК у тисячі разів.

Кожна функціональна група, зображена на фрагменті (рис.1), має свою специфічну роль, а їхня велика кількість зумовлює різноманітний вплив гуматів на всі етапи росту й розвитку рослин. Карбоксильні (COOH) і фенольні (OH) групи здатні утворювати хелатні комплекси з мікроелементами і в такому вигляді транспортувати їх в рослини, вони ж забезпечують високу обмінну ємність гумінових кислот. Хінони містять не локалізовані електрони, здатні вловлювати, накопичувати, а потім віддавати рослинній клітині сонячну енергію, збільшуючи її енергетику. Важливу роль відіграє не тільки наявність функціональних груп, але й також їх розташування.

1.3.2 Типи гуматів

Гумінові препарати є унікальними засобами, які можна застосовувати в процесі формування, розвитку і росту різних рослин. Дані препарати можна використовувати в процесі передпосадкової обробки насіннєвого матеріалу, а також в якості стимуляторів росту рослин при вирощуванні більшості сільськогосподарських культур. За формою випуску гумати можна розділити на два основних типи:

- рідкі засоби, що представляють собою пасту або розчин;
- сухі засоби, що представляють собою порошок або гранули.

Гумати в рідкому вигляді мають найбільшу універсальність, вони є натуральним імуномодулятором, стимулюють формування і ріст рослин, знімають стрес і можуть служити для комплексного підживлення. Рідкі гумати можна застосовувати на всіх етапах росту рослин: для передпосадкової обробки насіння, для підживлення азотними добривами у фазі цвітіння, для підвищення збереження врожаю за два тижні перед збиранням для плодоовочевої продукції або під час післязбиральної обробки для коренеплодів. Сухі гумати більш зручні для транспортування і зберігання. Вони допомагають боротися з гниллю і патогенними мікроорганізмами в

грунті, сприяють збільшенню врожайності і підвищенню приживлюваності посаджених рослин. Сухі гумати застосовують як ґрунтовий кондиціонер. Даний тип гуматів можна використовувати як для приготування розчинів, так і вносити в ґрунт в сухому вигляді, при цьому варто звернути увагу, що не всі гумати, що випускаються в сухому вигляді, придатні для приготування розчину гумінових речовин, у зв'язку з різним ступенем їх розчинності.

1.4. Вплив гуматів на врожайність

1.4.1. Вирощування картоплі

У разі використання рідких гуматів для передпосадкової обробки насіннєвої картоплі найоптимальнішим способом є використання установки для обробки коренебульбоплодів рослин перед висаджуванням або закладанням на зберігання. Бульби картоплі обробляють аерозолем гуматів, утвореним сумішшю туману та дезінфікуючого розчину, за температури випуску аерозолю гуматів щонайменше 30 °С, причому обробку бульб проводять безпосередньо після виїмки зі сховища. Обробку проводять генератором гарячого туману, що утворює аерозоль гуматів на випуску під час вантажно-розвантажувальних робіт перед посадкою. Обробку бульб картоплі із зовнішніми ознаками псування та механічних ушкоджень проводять за температури від 50 до 60 °С. Концентрація гуматів у дезінфекційному розчині - від 80 до 150 мл/л. Під час обробки бульб випуск аерозолю гуматів із дисперсністю 0,5-10 мкм і рН від 9 до 11 здійснюють на відстані від 0,1 до 1 м від них. Обробку бульб здійснюють протягом від 5 до 8 с на 10 кг бульб картоплі одноразово. Даний спосіб дає змогу посилити захист бульб від бактеріальних хвороб, він перевершує відомі засоби за простотою використання, антибактеріальною активністю та проникаючою здатністю за рахунок прояву в гуматів властивостей ПАР на поверхні бульб за умови збереження дезінфекційних властивостей.

Сухі гумати також можна вносити безпосередньо в ґрунт, під час висадки бульб картоплі. Для цих цілей можна використовувати картоплесаджалки з можливістю внесення добрив.

Завданнями досліджень було вивчення впливу гумінових препаратів на польову схожість насіння картоплі, фенологію та біометрію протягом вегетації, врожайність.

У процесі проведення фенологічних спостережень встановлено, що сході на варіантах із застосуванням гумінових препаратів з'явилися на 1-3 дні раніше за контроль. Обробка насіння аерозолем гуматів дала змогу підвищити енергію проростання та польову схожість картоплі, збільшити вегетативну масу рослин на початкових стадіях розвитку рослин. Кількість сходів на чотирнадцяту добу з моменту посадки була на 12% більшою, ніж на контрольному варіанті.

Гумати демонструють позитивний ефект при вирощуванні картоплі. Гумінові препарати, що вивчалися під час досліджень при передпосадковій обробці насіння картоплі, стимулювали продукційні процеси на ранніх етапах органогенезу. Збільшувалися польова схожість насіння, темпи росту надземної маси, елементи продуктивності і, зрештою, врожайність. Таким чином, результати досліджень свідчать про те, що передпосадковий обробіток насіння картоплі гуматами є високоефективним агрозаходом, завдяки якому можна не тільки значно підвищувати врожайність сільськогосподарських культур, а й одержувати більш якісну продукцію.

1.4.2. Вплив гумату калію на бобові культури

Гумат калію - це водорозчинний порошок темного кольору, який містить щонайменше 80% гумінових сполук. Його отримують шляхом обробки бурого вугілля, і він вирізняється серед подібних препаратів глибоким очищенням та багатим складом: мікроелементи, амінокислоти, природні цукри, антибіотики рослинного походження. Його застосування сприяє зниженню витрат на

виробництво, збільшенню врожайності та, як результат, підвищенню прибутків.

Цей препарат активно використовують у сільському господарстві: в тепличному вирощуванні та на відкритому ґрунті, для всіх видів культур - овочів, ягід, фруктів, зелені та квітів. Гумат калію покращує проростання насіння, стимулює ріст бульб картоплі, сприяє укоріненню розсади й підвищує приживлюваність саджанців.

Ефективність гумату обумовлена наявністю біологічно активних калієвих солей гумінових кислот, отриманих із бурого вугілля. З його застосуванням спостерігається посилення розвитку кореневої системи, поліпшення поглинання води та живильних речовин. Препарат діє комплексно: зміцнює рослини, покращує їхню стійкість до хвороб, посух, заморозків, активізує метаболічні процеси, фотосинтез і збільшує загальну біомасу. Крім того, гумат калію позитивно впливає на структуру ґрунту та сприяє відновленню його родючості.

Продукт виготовляється з торфу та бурого вугілля. Буре вугілля містить продукти розкладу рослинних решток і мікроорганізмів: амінокислоти, пептиди, ферменти, вуглеводи, стимулятори росту та природні антибіотики. Найбільш активними є гумати, що утворюються після спеціальної обробки цієї сировини.

Внесення гумату покращує фізичні, хімічні та біологічні властивості ґрунту. Він виконує захисну функцію, зв'язуючи важкі метали, токсичні речовини та радіонукліди, запобігаючи їхньому проникненню в рослини. Застосування гумату калію для замочування насіння або в якості позакореневого підживлення виступає як природний стимулятор росту: скорочуються строки вегетації, прискорюється розвиток рослин, підвищується врожайність.

Препарат сумісний із засобами захисту рослин, не вступаючи з ними у небажані хімічні реакції, що дозволяє зменшити кількість пестицидів і знизити їх негативний вплив. Також гумат дає можливість скоротити обсяги

використання мінеральних добрив (на 30-50%), що суттєво впливає на зниження собівартості продукції.

Використання гумату калію веде до помітного покращення якісних показників врожаю: підвищується вміст білка в кукурудзі та клейковини у пшениці на 1-2%, олійність соняшнику на 2-3%, цукристість цукрового буряка на 10-15%. Врожайність овочів, картоплі, кавунів може зрости до 20-50%. Помітно зростає схожість насіння, краще проростають бульби, успішніше приживається розсада. Також активує імунітет рослин, підвищуючи їхню стійкість до несприятливих умов.

Переваги гумату калію:

- містить до 80% гумінових кислот;
- має необмежений термін зберігання;
- економічний у використанні (малі витрати на гектар);
- забезпечує високу рентабельність для аграрного виробництва.

1.4.2.1. Боби машу

Боби машу - це самозапильна культура, яка належить до родини бобових. Це витривала культура, яку можна вирощувати на добре дренованих супіщаних ґрунтах за умов дощового живлення. Маш - це бобова культура, яка широко вирощується в субтропічних регіонах світу. Він має високу поживну цінність, містить 25% білка, в якому переважають амінокислоти лізин і триптофан (Kumar et al., 2018). Це основне джерело мінералів та вітамінів, зокрема вітаміну Е та вітаміну К, які відіграють метаболічну роль у підтримці міцного здоров'я людини. Різні види мінералів, що містяться в бобових, особливо залізо, цинк і магній. Вони вважаються культурою подвійного призначення, яку можна використовувати як на насіння, так і на корм.

Цей польовий експеримент проводився на агрономічній фермі S.K.N. College of Agriculture Jobner. Експеримент проводився у факторному рандомізованому блочному дизайні з трьома повтореннями та 16 комбінаціями обробок.

Добрива вносили відповідно до схеми через діамонійфосфат (DAP), що містить 46% P_2O_5 і 18% N, сечовину, що містить 46% N і K_2O , через мурат калію під час сівби відповідно до схеми, а всю дозу гумату калію ретельно перемішували в ґрунті перед сівбою культури. Необхідну кількість насіння (25 кг/га) перед посівом було оброблено культурою ризобій та фосфоросолюбілізуючими бактеріями (PSB) у дозі 20 г/кг насіння. Насіння висівали в рядки на відстані 30 см одне від одного. Відстань між рослинами становила 10 см, а глибина - 5 см для сорту RMG-492. Зрошення проводили лише один раз о 34 годині за добу.

Загальну кількість бульбочок та ефективних бульбочок/рослину підраховували на стадії цвітіння в 40 днів. П'ять рослин відбирали випадковим чином. Здорові бульбочки рожевого кольору підраховували і середнє значення записували як ефективну кількість бульбочок на рослину. Ефективні кореневі бульбочки зважували за допомогою електронних ваг, обчислювали середнє значення і записували як свіжу масу ефективних корневих бульбочок на рослину, яку потім висушували в сушильній шафі при 70°C до отримання постійної маси, після чого обчислювали середнє значення.

Експериментальні дані були проаналізовані за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA) відповідно до факторного рандомізованого блочного дизайну (Gomez and Gomez, 1984). Значущість методів лікування перевіряли за допомогою F-критерію з 5% рівнем значущості ($P < 0,05$), а середні значення порівнювали за допомогою тесту найменшої значущої різниці (LSD).

Аналіз даних, наведених у таблиці 1, показав, що застосування гумату калію суттєво підвищувало показники бульбоутворення до 4,5 кг/га порівняно з контролем. Достовірно максимальна кількість загальних бульбочок/рослину, ефективних бульбочок/рослину, свіжої та сухої маси бульбочок (мг/рослину), бульбочкового індексу та вмісту легемоглобіну в бульбочках (мг/г) (37,89, 29,22, 137,60, 72,23, 1,27 та 2,02 відповідно) спостерігалася при застосуванні гумату калію 4,5 кг/га, а також при застосуванні гумату калію 3 кг/га порівняно з контролем. Найнижче значення вищезазначених показників зафіксовано на

контролі. Цей ефект може бути пов'язаний з наявністю фульвокислот та гумінових кислот у складі гумату калію. Гумінові кислоти забезпечують рослини необхідними поживними речовинами та мінералами для росту, тоді як основною функцією фульвокислот є транспорт поживних речовин. Гумат калію підвищує доступність Р в кореневій зоні, що, в свою чергу, сприяє кращому росту коренів і пагонів, а також кращому бульбоутворенню.

Таблиця 1. Вплив гумату калію та рівня родючості на кількість загальних бульбочок, ефективних бульбочок, масу свіжих та сухих бульбочок (мг/рослину), бульбочковий індекс та вміст легемоглобіну (мг/г) у бульбочках машу під час цвітіння.

Treatments	Total nodules	Effective nodules	Weight of total nodule		Nodule index	Leghaemoglobin content in nodules
	/plant	/plant	Fresh	Dry		
Potassium humate						
K ₀ (control)	29.07	20.48	97.19	51.38	0.93	1.21
K ₁ (1.5 kg/ha)	31.29	24.25	114.74	59.97	1.09	1.62
K ₂ (3.0 kg/ha)	35.82	27.53	130.62	68.12	1.18	1.91
K ₃ (4.5 kg/ha)	37.89	29.22	137.60	72.23	1.27	2.02
SEm±	0.67	0.44	2.39	1.15	0.02	0.03
CD (P=0.05)	1.93	1.28	6.91	3.31	0.08	0.08
Fertility levels						
F ₀ (Control)	28.80	20.58	94.25	49.11	0.92	1.24
F ₁ (50% RDF)	31.83	24.05	114.13	60.16	1.09	1.67
F ₂ (75% RDF)	35.61	27.77	132.43	69.56	1.18	1.87
F ₃ (100% RDF)	37.83	29.07	139.35	72.89	1.27	1.97
SEm±	0.67	0.44	2.39	1.15	0.028	0.03
CD (P=0.05)	1.93	1.28	6.91	3.31	0.081	0.08

Значно більша кількість бульбочок/рослину, ефективних бульбочок/рослину, свіжої та сухої маси бульбочок (мг/рослину), бульбочкового індексу та вмісту легемоглобіну в бульбочках (мг/г) (37,83, 29,07, 139,35, 72,89, 1,27 та 1,97, відповідно) спостерігалася при застосуванні 100% RDF з наступним застосуванням 75% RDF порівняно з контролем. Цей ефект може бути пов'язаний з позитивним впливом азоту та фосфору; азот забезпечує сприятливе поживне середовище в кореневій зоні для кращого росту бульбочок. Фосфор відіграє важливу роль у розвитку коренів, покращує кореневі бульбочки та фіксацію азоту корінням. Рослини, які отримували помірно високий або високий вміст фосфору, мали середню довжину кореневої системи, а рослини, які отримували високу концентрацію азоту,

стимулювали ріст коренів і формували найдовші кореневі системи та бульбочки (Gentili et al., 2006).

Дані щодо впливу гумату калію та рівня родючості на показники врожайності та врожайність машу узагальнено в таблиці 2. Значно більшу кількість стручків на рослині, кількість насінин у стручку, наважку (г), врожайність насіння та соломи (кг/га) (21,56, 8,95, 33,80, 1193 та 2617, відповідно) було отримано при застосуванні гумату калію 4,5 кг/га з наступним внесенням гумату калію 3 кг/га порівняно з контролем. Гумінові кислоти покращують чистий фотосинтез рослин за рахунок збільшення хлорофілу та потоку транспорту електронів у рослинах, що призводить до більшого транспортування продуктів фотосинтезу з листя та стебла до зерна, що вказує на вищу біомасу в антезі (Aparicio et al., 2002).

Table 4: Effect of potassium humate and fertility levels on no. of pods/plant, no. of seeds/pod, test weight (g), seed and straw yield (kg/ha) of mungbean at harvest.

Treatments	No. of pods/ plant	No. of seeds/ pod	Test weight	Seed yield	Straw yield
Potassium humate					
K ₀ (control)	15.65	6.86	25.80	767	1946
K ₁ (1.5 kg/ha)	18.15	7.71	29.61	983	2222
K ₂ (3.0 kg/ha)	20.30	8.32	32.32	1139	2472
K ₃ (4.5 kg/ha)	21.56	8.95	33.80	1193	2617
SEm±	0.40	0.13	0.50	18	38
CD (P=0.05)	1.17	0.37	1.46	52	111
Fertility levels					
F ₀ (Control)	14.80	6.84	25.44	760	1942
F ₁ (50% RDF)	18.07	7.74	28.72	987	2221
F ₂ (75% RDF)	20.72	8.40	32.89	1139	2490
F ₃ (100 % RDF)	22.07	8.86	34.47	1197	2604
SEm±	0.40	0.13	0.50	18	38
CD (P=0.05)	1.17	0.37	1.46	52	111

Таблиця 2. Вплив гумату калію та рівня родючості на кількість стручків на рослині, кількість насінин у стручку, наважку (г), врожайність насіння та соломи (кг/га) маш при збиранні.

Максимальна кількість стручків на рослині, кількість насінин на стручку, наважка (г), врожайність насіння та соломи (кг/га) (22,07, 8,86, 34,47, 1197 та 2604, відповідно) значно перевищувала контроль при внесенні 100% RDF з наступним внесенням 75% RDF. Внесення азоту на ранній стадії розвитку маш є дуже важливим для стимулювання вегетативного росту та виробництва біомаси. Таким чином, внесення азоту стимулювало зав'язування насіння і

швидко підвищувало врожайність маш (Razzaque et al., 2017). Фосфор відіграє важливу роль у передачі та збереженні енергії. На певній стадії розвитку виробляється більше асимілятів, ніж використовується для розвитку та росту рослин, і надлишок асимілятів відводиться у сполуки зберігання. На більш пізній стадії запасуючі сполуки ремобілізуються і переміщуються в поглиблення, що збільшує кількість стручків і насіння в кожному стручку (Hernandez et al., 2009).

На основі вищезазначених результатів експерименту було зроблено висновок, що врожайність та кількість бульбочок, отриманих за обробки комбінацією K_2F_2 (гумат калію 3,0 кг/га + 75% RDF), була значно вищою за інші комбінації обробок і статистично дорівнювала комбінації обробок K_3F_2 (гумат калію 4. 5 кг/га + 75% RDF), K_3F_3 (гумат калію 4,5 кг/га + 100% RDF) та K_2F_3 (гумат калію 3,0 кг/га + 100% RDF), що свідчить про економію 25% RDF та 1,5 кг гумату калію.

1.4.2.1. Квасоля звичайна (*Phaseolus vulgaris* L.)

Бобові є корисним для здоров'я джерелом білка, особливо квасоля звичайна (*Phaseolus vulgaris* L.), яка становить 50% від загального обсягу зернових бобових, що споживаються у світі (Broughton et al., 2003).

Експериментальний дослід був повним рандомізованим блоком з 3 рівнями кожного з КН і Р, з трьома повтореннями на кожен обробку. Експериментальні ділянки зрошували до рівня випаровування (ET0) референтної культури згідно з Алленом та ін. (1998). Всі інші рекомендовані агротехнічні прийоми для квасолі звичайної виконували відповідно до рекомендацій Abdelhamid та ін. (2013). Обробку калійними добривами проводили у двох рівних дозах: через 25 і 40 днів після сівби (DAS).

Обробка ґрунту гуматом калію (КН) значно підвищила всі перевірені характеристики росту (тобто довжину пагонів, кількість листків на рослину, площу листя на рослину та свіжу та суху масу пагонів) рослин квасолі звичайної під впливом солі порівняно з контролем (без КН) (табл. 3). Два

перевірених рівні КН не показали істотних відмінностей, за винятком значень площі листя на рослину, де КН₂ значно перевищував обробку КН₁ і контроль. Результати двох сезонів показали однакову тенденцію. КН при 100 кг на феддан вважається кращим лікуванням.

Таблиця 3. Вплив внесення в ґрунт гумату фосфору або калію на властивості росту рослин квасолі звичайної (*Phaseolus vulgaris* L., сорт «Bronco»), вирощених під впливом засолення ґрунту (Середні значення (n = 9) у кожному стовпчику для кожного року, що супроводжуються різними малими літерами, достовірно відрізняються при $p \leq 0,05$ за критерієм Дункана для множинного діапазону. Контроль - ділянки без обробки КН, КН₁ - 100 кг гумату калію на феддан, КН₂ - 200 кг гумату калію на феддан.)

Treatments	Parameters									
	Shoot Length (cm)	% of Control	No. of Leaves Plant ⁻¹	% of Control	Leaf Area Plant ⁻¹ (dm ²)	% of Control	Shoot Fresh Weight (g)	% of Control dry	Shoot Dry Weight (g)	% of Control
2016 season										
Control	25.4b	-	7.31b	-	9.51c	-	25.0b	-	5.74b	-
КН ₁	27.2a	+ 7.2	7.65a	+ 4.7	10.36b	+ 8.9	29.3a	+ 17.2	6.88a	+ 19.9
КН ₂	28.2a	+ 11.0	7.85a	+ 7.4	11.19a	+ 17.7	31.4a	+ 25.6	7.43a	+ 29.4
2017 Season										
Control	26.1b	-	7.28b	-	9.58c	-	25.8b	-	5.87b	-
КН ₁	27.8a	+ 6.5	7.59a	+ 4.3	10.56b	+ 10.2	29.8a	+ 15.5	6.95a	+ 18.4
КН ₂	28.3a	+ 8.4	7.80a	+ 7.1	11.49a	+ 19.9	32.0a	+ 24.0	7.48a	+ 27.4

Обробка ґрунту КН значно підвищила всі перевірені характеристики врожайності зелених стручків і сухого насіння [тобто середню вагу стручків, кількість стручків на рослину, вагу стручків на ділянку (10,5 м²), вагу сухого насіння на ділянку (10,5 м²) і вагу 100 насінин] рослин квасолі, що постраждали від солі, порівняно з контролем (без КН) (Таблиця 4). Два перевірені рівня КН не показали істотних відмінностей, за винятком

параметра ваги стручків на рослину. Результати двох сезонів показали однакову тенденцію. Повідомляється, що КН при 100 кг на феддан є кращим лікуванням.

Таблиця 4. Вплив внесення в ґрунт гумату фосфору або калію на врожайність зелених стручків і сухого насіння рослин квасолі звичайної (*Phaseolus vulgaris* L., сорт «Bronco»), вирощених під впливом засолення ґрунту

Treatments	Parameters									
	Pod Weight (gm)	% of Control	Pods No. Plant ⁻¹	% of Control	Pod Weight Plant ⁻¹ (g)	% of Control	Dry Seed Weight Plant ⁻¹ (g)	% of Control Dry	100-Seed Weight (g)	% of Control
2016 season										
Control	2.20b	-	15.2b	-	31.5c	-	10.6b	-	16.6b	-
KN1	2.44a	+ 10.9	19.0a	+ 25.0	43.7b	+ 38.7	12.0a	+ 13.2	18.4a	+ 10.8
KN2	2.54a	+ 15.5	20.6a	+ 35.5	49.4a	+ 56.8	12.3a	+ 16.0	19.3a	+ 16.3
2017 Season										
Control	2.24b	-	15.5b	-	32.6c	-	10.8b	-	17.2b	-
KN1	2.50a	+ 11.6	19.5a	+ 25.8	46.0b	+ 41.1	12.0a	+ 11.1	19.2a	+ 11.6
KN2	2.61a	+ 16.5	21.2a	+ 36.8	52.2a	+ 60.1	12.7a	+ 17.6	20.1a	+ 16.9

Висновки

Гумінові речовини (тобто гумат калію; КН) покращили хімічні властивості ґрунту шляхом збільшення ґрунтових мікроорганізмів, які покращують поглинання поживних речовин і знижують рН ґрунту (Nemida et al., 2017; Osman and Rady, 2012), що призводить до збільшення поглинання поживних речовин N, P, K⁺ і Ca²⁺ та зниження поглинання Na⁺ при застосуванні КН (100 кг фед.-1) порівняно з контролем (табл. 5). Позитивний вплив КН на ріст рослин можна віднести до його дії як джерела регуляторів росту рослин. З цього приводу Nardi et al. (1999) повідомили, що гумінова кислота містить гібереліни та ауксин, які демонструють більшу кількість фенолу. Потенціал солоності зменшується під час обробки КН, тому рослина знижує свій осмотичний потенціал, щоб поглинати воду та підтримувати

тургор, свідчення збільшення відносного вмісту води, індексу стабільності мембрани, DPPH, каротиноїдів, антоціанів, розчинних цукрів, вільного проліну, загальних флавоноїдів, загальних фенолів, вмісту N, P та K^+ , а також зменшення витоку електроліту, Cl та Na^+ (Таха та Осман, 2017). Це призвело до покращення морфологічних ознак, що позитивно відобразилося на врожайності зелених стручків і сухого насіння (таблиці 2 і 3). У цьому відношенні Kaya et al. (2005) повідомили, що застосування гумінової кислоти до зеленої квасолі значно збільшило кількість рослин-1 насіння та вагу насіння рослин-1.

Застосування КН у ґрунт підвищувало вміст у листі загальних хлорофілів, загальних каротиноїдів, ефективність фотосинтезу; F_v/F_m і PI (табл. 4), що вказує на те, що гумінові кислоти відображають позитивний вплив на поглинання води або зменшення втрати води, більше накопичення сумісних осмолітів, таких як розчинні цукри, вільний пролін, загальні флавоноїди, загальні фенольні сполуки, каротиноїди, загальні фенольні сполуки та вміст антоціанів у листі та збільшення активності поглинання радикалів DPPH, що, як наслідок, спричиняє збільшення у водному потенціалі листя (Hemida et al., 2017; Таха and Osman, 2017). Таким чином, можна зробити висновок, що сприятливий вплив гумінової кислоти на параметри росту бобових рослин пов'язаний з ефективністю їх поглинання та використання води, а також її роллю в накопиченні осмолітів. Крім того, гумінові речовини можуть підвищити поглинання частини поживних речовин і зменшити поглинання Cl і Na^+ (Hemida et al., 2017; Таха and Osman, 2017).

Більш високий вміст N, P, K^+ і Ca^{2+} і нижчий вміст Na^+ у листі спостерігався при забезпеченні ґрунтом 100 кг КН феддан⁻¹ КН за умов солоності 7,86 дСм/м. Позитивний вплив гумінових кислот на поглинання поживних елементів може бути зумовлений їх впливом на вміст фотосинтетичних пігментів листя та ефективність фотосинтезу (табл. 4), а також на накопичення сумісних осмолітів і антиоксидантів (Hemida et al., 2017; Таха and Osman, 2017). Крім того, гумінові кислоти, так само як хороший

стан добрива, створюють кращий доступ для поживних речовин шляхом зниження значення рН ґрунту, а також посилення дії ґрунтових організмів (Hemida et al., 2017; Osman and Rady, 2012). Зменшення вмісту хлорофілу в засолених рослинах може бути наслідком підвищення активності ферменту хлоропласту, що розкладає хлорофіл (Reddy and Vora, 1986). Рослини долають цей несприятливий стан шляхом збільшення накопичення проліну в рослинах, які піддаються впливу солі; водний стрес у багатьох видів корелює з їх адаптацією до осмотичного стресу (Taha and Osman, 2017). Складні атомні реакції, включаючи накопичення ідеальних розчинених речовин, генерацію стресових білків і експресію різних наборів генів, є частинами рослини, що також вказує на систему захисту від стресу засолення (Hasegawa et al., 2000; Sairam and Tyagi, 2004). На думку багатьох дослідників, гумінові речовини можуть підвищити засвоєння порційних поживних речовин; зменшити поглинання токсичних компонентів (Khaled and Fawy, 2011).

Позитивний вплив гумінової кислоти на вміст N, P, K⁺ і Ca²⁺ у листі може бути пов'язаний з їх впливом на стабільність проникності мембран (Zientara, 1983). Пов'язано з нашими результатами, El-Ghamry et al. (2009) і Taha і Osman (2017) повідомили про значне збільшення вмісту азоту, фосфору та калію в листі за рахунок використання гумінової кислоти. Раді та ін. (2016) повідомили, що внесення гумінових кислот у ґрунт призвело до значного зниження вмісту Na⁺ у листі рослин бавовнику.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Методика отримання гумату

Сутність методу полягає в обробці аналітичної проби вугілля лужним розчином пірофосфорнокислого натрію при кімнатній температурі, наступної одноразової екстракції гумінових кислот розчином натрію гідроксиду при нагріванні, осадженні надлишком їх соляної кислоти і визначенні маси отриманого осаду.

2.1.1 Екстракція гумінових кислот

Наважку проби вугілля вміщують у конічну колбу місткістю 250 см³, доливають 100 см³ лужного розчину пірофосфорнокислого натрію і

перемішують за допомогою струшувача протягом 1 год. Отриману суміш центрифугують протягом 15 хв при частоті обертання 2000 хв^{-1} . Розчин декантують, залишок, що не розчинився, промивають один-два рази 100 см^3 1%-ного розчину натрію гідроксиду і знову центрифугують, збираючи основний екстракт і промивні води в один приймач. Промитий залишок вугілля переносять у колбу місткістю 250 см^3 , заливають 100 см^3 розчину гідроксиду натрію і нагрівають протягом 2 годин на водяній бані так, щоб температура розчину була не вище 80°C . Після охолодження вміст колби центрифугують і знову промивають 1%-ним розчином гідроксиду натрію, як зазначено вище, збираючи основний розчин і промивні води в той самий приймач. Екстракція гумінових кислот має бути закінчена протягом 7 год.

ВИСНОВКИ

1. В результаті проведеного літературного огляду зроблено висновки. Гумус є однією з найважливіших складових ґрунту, яка значною мірою визначає його родючість, водно-повітряний режим, буферні властивості та біологічну активність. Основними компонентами гумусу є гумінові речовини (гумінові кислоти, фульвокислоти, гуміни), які беруть активну участь у процесах ґрунтоутворення, утриманні поживних речовин і формуванні ґрунтової структури.

2. Гумати — це солі гумінових кислот, які можуть бути отримані з природних джерел, зокрема бурого вугілля, і ефективно використовуються як біологічно активні добрива у сільському господарстві.

Використання гуматів у сільському господарстві сприяє:

- підвищенню ефективності засвоєння мінеральних добрив;
- поліпшенню структури ґрунту та активізації ґрунтової мікрофлори;
- зменшенню негативного впливу агрохімікатів на довкілля.

3. Результати численних досліджень вказують, використання гуматів, особливо калієвих, відкривають широкі можливості для підвищення родючості ґрунтів і продуктивності сільськогосподарських культур. Інтеграція гуматів у систему добрив дозволяє комплексно вирішувати проблеми зниження родючості, оптимізувати мінеральне харчування рослин, стимулювати їх стійкість до стресів і забезпечувати економічну ефективність виробництва. Для максимального ефекту необхідно адаптувати технології застосування гуматів до специфіки окремих культур (бобових, картоплі) та локальних умов вирощування, що сприятиме сталому розвитку агросистем та покращенню якості сільськогосподарської продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

