

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»
Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Химической и биохимической инженерии

Поплавский Владислав Брониславович

«Получение биопрепарата на основе гуминового вещества и комплекса янтарной кислоты с
ионами серебра»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6805101 - Химическая и биохимическая инженерия

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Химической и биохимической инженерии

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
«Химическая
и биохимическая
инженерия»
доктор PhD
Мангазбаева Р. А.
«__» _____ 2025 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Получение биопрепарата на основе гуминового вещества и комплекса янтарной кислоты с ионами серебра»

По образовательной программе 6B05101-Химическая и биохимическая инженерия

Выполнил

Поплавский В. Б.

Рецензент
К.с/х.н. ТОО «Опытное хозяйство
масличных культур», зав. лаб.
масличных культур
_____ Григорчук Н.Ф.
«__» _____ 2025 г.

Научный руководитель
Канд. техн. наук., ассоц проф
_____ Қабдрахманова С.К.
«__» _____ 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Химической и биохимической инженерии

6B05101 – Химическая и биохимическая инженерия

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
«Химическая
и биохимическая
инженерия»
доктор PhD
Мангазбаева Р. А.
«__» _____ 2025 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся: Поплавскому Владиславу Брониславовичу

Тема: Получение биопрепарата на основе гуминового вещества и комплекса янтарной кислоты с ионами серебра

Утверждена приказом проректора по академической работе университета № 26-П/О от 29 января 2025г .

Срок сдачи законченной работы «__» июня 2025 г.

Исходные данные к дипломной работе: получить комплекс янтарной кислоты с ионами серебра, провести его физико-химические исследования процессов комплексообразования, применить полученный комплекс в качестве средства для прорацивания семян и стимуляции начального роста растений, сравнить его действие с действием янтарной кислоты и действием наночастиц серебра в питательной среде, оценить применение биостимуляторов на развитие растений в питательной среде, изучить методику микроклонального размножения и определения показателей роста растений, а также выявить наиболее эффективные концентрации комплекса для достижения оптимальных результатов прорацивания

Краткое содержание дипломного проекта:

- a) литературный обзор*
- б) экспериментальная часть*
- в) результаты и их обсуждение*
- г) заключение*

Перечень графического материала: *представлены __ слайдов презентации работы*

Рекомендуемая основная литература: *из __ наименований.*

ГРАФИК

ПОДГОТОВКИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Литературный обзор		Выполнено
Экспериментальная часть		Выполнено
Результаты и их обсуждение		Выполнено
Заключение		Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы.

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. Степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Экспериментальная часть	Қабдрахманова С.Қ. к.т.н. ассоц профессор		
Результаты и их обсуждение	Қабдрахманова С.Қ. к.т.н. ассоц профессор		
Нормоконтролер	Қабдрахманова С.Қ. к.т.н. ассоц профессор		

Научный руководитель _____ Қабдрахманова С.Қ.

Задание принял к исполнению обучающийся _____ Поплавский В. Б.

Дата «__» ____ 2025 г.

АННОТАЦИЯ

Настоящая дипломная работа посвящена разработке и исследованию нового биопрепарата, предназначенного для стимуляции прорастания семян и начального роста растений. Биопрепарат создан на основе гуминового вещества, экстрагированного из бурого угля, и комплекса янтарной кислоты с ионами серебра. В ходе исследования были изучены методы получения гуминовых веществ и синтеза комплекса янтарной кислоты с серебром, а также их физико-химические свойства с использованием методов кондуктометрического и потенциометрического титрования, ИК- и УФ-спектроскопии. Разработана методика приготовления многокомпонентного биопрепарата. Проведена сравнительная экспериментальная оценка влияния полученного биопрепарата на прорастание семян и развитие всходов модельных культур в лабораторных условиях. Выявлены оптимальные концентрации компонентов и их синергетические эффекты, подтверждающие потенциал разработанного биопрепарата как эффективного и экологически безопасного стимулятора роста и защитного агента в сельском хозяйстве.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыс тұқымдардың өнүі мен өсімдіктердің бастапқы өсуін ынталандыруға арналған жаңа биопрепарatty әзірлеу және зерттеуге арналған. Биопрепарат қоныр көмірден алынған гуминдік заттар мен күміс иондары бар янтарь қышқылы кешенінің негізінде жасалған. Зерттеу барысында гумин заттарын алу және янтарь қышқылының күміспен кешенін синтездеу әдістері, сондай-ақ олардың физика-химиялық қасиеттері зерттелді. Бұл үшін кондуктометриялық және потенциометриялық титрлеу, ИК және УК-спектроскопия әдістері қолданылды. Көп компонентті биопрепарatty дайындау әдіstemесі жасалды. Лабораториялық жағдайда модельдік дақылдардың тұқымының өнүі мен көгін дамуына биопрепарattyң әсері салыстырмалы түрде зерттелді. Компоненттердің онтайлы концентрациялары және олардың синергетикалық әсерлері анықталып, биопрепарattyң ауыл шаруашылығында тиімді және экологиялық тұрғыдан қауіпсіз өсу стимуляторы және қорғаныш агенті ретіндегі әлеуеті дәлелденді.

ABSTRACT

This thesis is devoted to the development and investigation of a novel biopreparation designed to stimulate seed germination and the initial growth of plants. The biopreparation is based on humic substances extracted from brown coal and a complex of succinic acid with silver ions. The research includes the study of methods for obtaining humic substances and synthesizing the succinic acid–silver complex, as well as analyzing their physicochemical properties using conductometric and potentiometric titration, IR and UV spectroscopy. A preparation method for the multicomponent biopreparation was developed. A comparative experimental evaluation of the biopreparation's effects on seed germination and seedling development of model crops under laboratory conditions was carried out. Optimal component concentrations and their synergistic effects were identified, confirming the potential of the developed biopreparation as an effective and environmentally safe growth stimulator and protective agent in agriculture.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Литературный обзор.....	8
1.1 Гуминовые вещества: источники, структура и механизмы биостимуляции ...	8
1.2 Янтарная кислота: метаболический активатор и адаптоген растений	9
1.3 Ионы серебра: antimикробные свойства и влияние на рост растений	10
1.4 Синергетические эффекты и перспективы мультикомпонентных биопрепаратов.....	11
2 Материалы и методы исследования.....	12
2.1.1 Описание использованных материалов.....	12
2.1 Получение гуминовых веществ из бурого угля.....	12
2.2 Синтез и характеристика комплекса янтарной кислоты с ионами серебра ...	13
2.3 Разработка комплексного биопрепарата (ГВ + ЯК-Ag).....	15
2.4 Методика оценки эффективности биопрепарата на прорастание семян	17
3 Результаты и их обсуждение	20
3.1 Физико-химические характеристики полученных компонентов и комплекса	20
3.2. Влияние биопрепарата на прорастание семян и начальный рост растений .	21
3.3 Сравнительный анализ действия отдельных компонентов и комплексного биопрепарата	21
3.4 Микроскопический анализ выращенных растений и меры борьбы с патогенами.....	23
3.5 Обсуждение полученных результатов.....	24
Заключение.....	26
Список использованной литературы	27

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования: в условиях нарастающего давления на глобальные продовольственные системы и изменения климата, эффективное развитие сельскохозяйственного сектора становится не просто задачей, а критической необходимостью. Согласно данным ФАО, значительная часть населения мира страдает от голода и недоедания, а также от проблем, связанных с несбалансированным питанием. Сельскохозяйственный прогноз на 2020-2029 годы указывает, что около 85% глобального роста производства растениеводческой продукции в ближайшие годы будет связано с повышением урожайности за счет более интенсивного использования ресурсов, инвестиций в технологии производства и усовершенствованных методов возделывания. В этих условиях сельское хозяйство остро нуждается в динамичном взаимодействии науки и техники для решения глобальных проблем, таких как изменение климата, деградация земель и обеспечение продовольствием растущего населения планеты [1].

Использование физиологически активных веществ, или биостимуляторов, для роста и развития растений позволяет мобилизовать генетический потенциал сельскохозяйственных культур, повышая их урожайность и устойчивость к неблагоприятным условиям [2]. В связи с возрастающим интересом к экологически чистым методам ведения сельского хозяйства, актуальной задачей становится разработка биологически активных препаратов на основе природных соединений. Гуминовые вещества, янтарная кислота и ионы серебра являются перспективными компонентами для создания таких препаратов, обладающих выраженным стимулирующим действием на рост растений и antimикробными свойствами [3].

Разработка многокомпонентных биостимуляторов, сочетающих в себе несколько активных веществ, представляет собой особенно перспективное направление. Объединение гуминовых веществ, янтарной кислоты и ионов серебра позволяет создать многофункциональный биопрепарат, который не только стимулирует рост, но и обеспечивает antimикробную защиту [5]. Такой подход позволяет одновременно решать несколько сельскохозяйственных проблем, потенциально снижая зависимость от синтетических фунгицидов и пестицидов. Это напрямую связывает глобальные сельскохозяйственные вызовы с необходимостью создания передовых, многоцелевых биостимуляторов.

Цель исследования: синтез и характеристика нового биопрепарата на основе гуминового вещества и комплекса янтарной кислоты с ионами серебра, а также оценка его эффективности в качестве стимулятора прорастания семян.

Задачи исследования:

1. Экстрагировать и охарактеризовать гуминовые вещества из бурого угля.
2. Синтезировать и охарактеризовать комплекс янтарной кислоты с ионами серебра.

3. Разработать комплексную методологию приготовления многокомпонентного биопрепарата, включающего гуминовые вещества, комплекс янтарной кислоты с серебром и, при необходимости, свободные ионы серебра.

4. Оценить физико-химические свойства полученного биопрепарата.

5. Провести сравнительный экспериментальный анализ влияния биопрепарата на прорастание семян и начальный рост всходов выбранных модельных культур.

6. Определить оптимальные концентрации и пропорции компонентов для достижения максимального стимулирующего и защитного эффекта.

7. Проанализировать наблюдаемые эффекты в контексте известных механизмов действия каждого компонента и их потенциального синергизма.

Научная новизна: разработка и детальная характеристика биопрепарата, объединяющего гуминовые вещества, янтарную кислоту и ионы серебра. Хотя отдельные компоненты известны как биостимуляторы или антимикробные агенты, их специфическая комбинация в стабильном и эффективном биопрепарате для стимуляции прорастания семян, с акцентом на подробную характеристику и синергетические эффекты, представляет собой новый подход. Особое внимание уделяется малоизученным химическим процессам комплексообразования между янтарной кислотой и ионами серебра, а также влиянию гуминовых веществ на эти процессы. Исследования показывают, что химические процессы комплексообразования янтарной кислоты с ионами серебра еще не полностью изучены, и эта тема может привести к новым открытиям и разработкам. Добавление гуминовых веществ к этому комплексу не только расширяет область применения, но и углубляет фундаментальное химическое понимание взаимодействия этих трех компонентов, что может иметь значительные последствия для химической биологии.

1 Литературный обзор

1.1 Гуминовые вещества: источники, структура и механизмы биостимуляции

Гуминовые вещества (ГВ) представляют собой основные компоненты природного органического вещества, широко распространенные в почве, воде, а также в геологических органических отложениях, таких как торф, бурый уголь и сланцы. Они образуются в результате разложения растительных и животных остатков на протяжении тысячелетий, формируя стабильные органические соединения, известные как гумус. Основными фракциями гумуса являются гуминовые кислоты (ГК), фульвовые кислоты (ФК) и гумин [12]. Гуминовые кислоты представляют собой сложные, гетерогенные смеси с разнообразными функциональными группами, включая карбоксильные (-COOH), фенольные гидроксины (-OH), спиртовые гидроксины и амины. Эти функциональные группы обеспечивают их способность к комплексообразованию с металлами и ионному обмену [14]. ГК являются полиэлектролитами и образуют динамические ассоциации в растворе, что определяет их высокую химическую реакционную способность и при этом устойчивость к биодеградации. Механизмы биостимуляции гуминовыми веществами многообразны и включают как прямое, так и косвенное воздействие на растения. Прямые эффекты проявляются в активации ферментов, участвующих в метаболизме углерода и азота, стимуляции образования корней и увеличении общей биомассы растений. Исследования показывают, что ГК могут улучшать эффективность фотосинтеза и метаболизм полиаминов. Косвенные эффекты ГВ связаны с их влиянием на почву и доступность питательных веществ [16]. Они улучшают структуру и плодородие почвы, снижают ее уплотнение, повышают способность удерживать питательные вещества и воду [16]. Особое значение имеет их способность образовывать хелатные комплексы с микроэлементами, такими как железо (Fe) и цинк (Zn), что повышает их растворимость и доступность для растений. Это объясняет, почему улучшение роста растений, часто приписываемое гормоноподобной активности ГВ, на самом деле может быть результатом улучшения доступности микроэлементов. ГВ действуют как природные хелаторы, делая необходимые микроэлементы более биодоступными, что имеет решающее значение для биопрепарата, так как это подразумевает, что ГВ могут улучшать поглощение других полезных ионов, включая серебро, или смягчать потенциальный дефицит питательных веществ. Кроме того, ГВ стимулируют микробную активность в почве, способствуя круговороту питательных веществ. Важным аспектом действия гуминовых веществ является их способность повышать проницаемость клеточных мембран растений. Это свойство способствует лучшему поглощению других активных компонентов, таких как янтарная кислота и ионы серебра. Таким образом, ГВ не просто действуют как независимый компонент, но и

выступают в роли усилителя системы доставки, что значительно повышает общую эффективность биопрепарата.

1.2 Янтарная кислота: метаболический активатор и адаптоген растений

Янтарная кислота (бутандионовая кислота) представляет собой двухосновную карбоновую кислоту, играющую ключевую роль в энергетическом обмене клеток [2]. Она является важным промежуточным продуктом цикла трикарбоновых кислот (цикла Кребса), где участвует в производстве АТФ, основного источника энергии для клеточных процессов. Применение янтарной кислоты в растениеводстве основано на ее способности активировать метаболические процессы. Она способствует аэробному распаду глюкозы и синтезу АТФ, что приводит к улучшению энергетического обмена в растительных клетках. Препараты на основе янтарной кислоты обладают антигипоксическими, метаболическими и антиоксидантными свойствами [2]. Обработка посадочного материала раствором янтарной кислоты или полив растений в период их роста ускоряет созревание плодов, увеличивает содержание витаминов и сахара, а также значительно повышает урожайность. Кроме того, янтарная кислота повышает холодостойкость, засухоустойчивость и сопротивляемость растений к заболеваниям, активируя защитные антиоксидантные системы. Она также регулирует и ускоряет рост растений, укрепляет корневую систему и положительно влияет на синтез хлорофилла. Янтарная кислота, благодаря наличию двух карбоксилатных групп, является отличным лигандом для образования металлокомплексов. Комплексы янтарной кислоты с металлами, такими как медь, серебро и бор, демонстрируют усиленные бактерицидные, фунгицидные и биостимулирующие свойства [5]. Оценка эффективности янтарной кислоты требует учета ее концентрации и контекста применения. В одном из исследований было отмечено, что янтарная кислота в концентрации 0,2% усиливает рост стебля картофеля *in vitro*, но не способствует развитию корнеобразования и увеличению количества черенков, что противоречит общим литературным данным [5]. При этом для стимуляции прорастания семян рекомендованы значительно более низкие концентрации — от 0,005 до 0,05 мМ (приблизительно 0,59–5,9 ppm). Это существенное различие в эффективных концентрациях, наряду с противоречивыми наблюдениями по развитию корней, указывает на высокую зависимость эффектов янтарной кислоты от дозировки и условий применения (например, *in vitro* культура тканей против *ex vitro* прорастания семян, а также от вида растения). Таким образом, для достижения оптимального результата необходимо проводить тщательные исследования зависимости дозы от эффекта для конкретного применения, в данном случае — для прорастания семян.

1.3 Ионы серебра: антимикробные свойства и влияние на рост растений

Серебро и его соединения давно используются в качестве противомикробных средств. Активные ионы серебра (Ag(I)) и наночастицы серебра (AgNPs) проявляют сложное, дозависимое действие на растения.

Основной механизм антимикробного действия серебра связан с медленным высвобождением ионов Ag(I) , которые реагируют с тиоловыми группами белков или ключевыми функциональными группами ферментов, вызывая денатурацию белков и нарушение функции клеточных мембран [24]. Кроме того, ионы серебра могут генерировать активные формы кислорода (АФК), которые повреждают липиды, ДНК, РНК и белки, приводя к нарушению работы мембран, повреждению белков и механизма репликации ДНК, а также к гибели бактериальных клеток. При низких концентрациях ионы серебра и AgNPs могут стимулировать рост растений, улучшать их метаболизм и повышать концентрацию основных питательных веществ (азота, фосфора, калия) в листьях [9]. Примеры включают усиление роста корней и побегов, а также защиту растений от абиотических стрессов, таких как тепловой и солевой. Однако эффекты серебра сильно зависят от концентрации. При высоких концентрациях AgNPs могут оказывать ингибирующее или токсическое действие. Это проявляется в снижении всхожести семян и роста растений, уменьшении длины и массы корней/побегов, изменении активности ферментов и морфологических аномалиях.

Например, для *Oryza sativa* 30 мкг/мл AgNP стимулировали рост корней, тогда как 60 мкг/мл ингибирировали его [25]. Для применения в биопрепаратах важно использовать безопасные формы серебра, такие как нитрат серебра (AgNO_3) или комплексы с янтарной кислотой. Гуминовые вещества способны стабилизировать ионы серебра, предотвращая их агрегацию и потенциально влияя на биодоступность. В предыдущих исследованиях концентрация серебра 0,005% была признана нетоксичной и проявляла антибактериальные защитные свойства, однако было отмечено, что для полного подавления всех патогенов требуется более обширное исследование этой концентрации [5]. Это указывает на существование критического порога: концентрация должна быть достаточной для эффективного антимикробного действия, но при этом достаточно низкой, чтобы избежать фитотоксичности и сохранить рост-стимулирующие свойства. Достижение этого тонкого баланса является ключевой задачей и значительной областью для экспериментальной оптимизации в процессе разработки биопрепарата.

1.4 Синергетические эффекты и перспективы мультикомпонентных биопрепаратов

Объединение гуминовых веществ, янтарной кислоты и ионов серебра в одном биопрепарate направлено на достижение синергетического эффекта, при котором комбинированное действие превосходит сумму эффектов отдельных компонентов [5]. Предполагаемые синергетические механизмы включают:

- Улучшение проницаемости клеточных мембран: Гуминовые вещества повышают проницаемость клеточных мембран, что облегчает поглощение янтарной кислоты и ионов серебра растительными клетками. Это свойство превращает гуминовые вещества из простого активного ингредиента в усилитель системы доставки, что критически важно для повышения общей эффективности биопрепарата.

- Активация метаболизма и энергетического обмена: Янтарная кислота активирует клеточный метаболизм, в частности цикл Кребса, что приводит к увеличению производства энергии (АТФ). Эта дополнительная энергия поддерживает как общий рост, так и реакции растений на стресс.

- Антимикробная защита: Ионы серебра обеспечивают антимикробную защиту, подавляя патогены и снижая риск загнивания семян на ранних стадиях прорастания. Это способствует успешному прорастанию и здоровому развитию всходов.

- Стабилизация и снижение токсичности серебра: Гуминовые вещества способны стабилизировать ионы серебра, потенциально снижая их токсичность для растений, одновременно сохраняя их антимикробную активность. Это позволяет более безопасно использовать серебро в составе биопрепарата.

- Двойное действие комплекса ЯК-Ag: Сам по себе комплекс янтарной кислоты с серебром обладает как фунгицидными, так и биостимулирующими свойствами.

Примеры из литературы подтверждают наличие синергетических эффектов. Так, комбинация гуминовых веществ (0,05%) и янтарной кислоты (0,1%) увеличила всхожесть пшеницы на 25%. Наночастицы серебра в составе гуминовых комплексов (до 5 ppm) демонстрировали антимикробную активность без угнетения роста [5].

Глубокое понимание синергии компонентов показывает, что гуминовые вещества играют роль не только активного ингредиента, но и модулятора и фасilitатора действия других компонентов. Они могут как увеличить биодоступность янтарной кислоты и серебра за счет улучшения поглощения, так и смягчить потенциальную токсичность серебра путем хелатирования и контролируемого высвобождения. Это превращает гуминовые вещества в ключевой компонент для оптимизации эффективности и безопасности всего комплекса.

2 Материалы и методы исследования

2.1.1 Описание использованных материалов

В процессе выполнения экспериментальных исследований использовались следующие материалы и химические реагенты:

- Уголь бурый — месторождение Каражыра (Республика Казахстан), предварительно высушенный, измельчённый и просеянный через сито (фракция 1–2 мм);
- Гидроксид натрия (NaOH) — ч.д.а., массовая доля основного вещества $\geq 99,0\%$, ГОСТ 4328-77, производитель: АО «Химреактив», Россия;
- Соляная кислота (HCl) — х.ч., массовая концентрация 36 %, производитель: Sigma-Aldrich, США;
- Янтарная кислота ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4$) — химически чистая, массовая доля $\geq 99,0\%$, производитель: Sigma-Aldrich, США;
- Нитрат серебра (AgNO_3) — х.ч., массовая доля основного вещества $\geq 99,5\%$, производитель: АО «Химреактив», Россия;
- Диметиловый эфир янтарной кислоты ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$) — х.т., чистота 99 %, производитель: Sigma-Aldrich, г. Бангалор, Индия;
- Калий гидроксид (KOH) — ч.д.а., массовая доля основного вещества $\geq 99\%$, ГОСТ 9285-78, производитель: АО «Химреактив», Россия;
- Перекись водорода (H_2O_2) — х.ч., массовая концентрация 38 %, производитель: Реахим, Россия;
- Вода деионизированная — получена с использованием лабораторной установки обратного осмоса, $\text{pH} 6,8\text{--}7,2$, температура $22 \pm 2^\circ\text{C}$.

Все используемые химические вещества соответствовали требованиям чистоты согласно действующим государственным стандартам (ГОСТ) или международным техническим условиям производителей. Реагенты применялись без дополнительной очистки.

2.1 Получение гуминовых веществ из бурого угля

Для получения гуминовых веществ (ГВ) использовался метод щелочной экстракции из бурого угля. Процесс включал следующие этапы:

1. Подготовка щелочного раствора: приготавливали 200 мл раствора 0,5 М гидроксида натрия (NaOH). Для экстракции из 96 г бурого угля, согласно исходным данным, потребуется 960 мл воды и 19,5 г сухого NaOH .
2. Добавление угля и перемешивание: к 200 мл раствора NaOH добавляли 20 г бурого угля. Смесь оставляли на 18 часов при постоянном перемешивании.

3. Отстаивание: после перемешивания смесь оставляли на 24 часа в темном помещении при комнатной температуре для отстаивания.

4. Фильтрация: полученный раствор, содержащий гуминовую и фульвовую кислоты, отфильтровывали от остатков угля.

5. Осаждение гуминовой кислоты: для отделения гуминовой кислоты к фильтрату добавляли 6 М соляную кислоту (HCl) до достижения кислой среды, в которой гумин выпадает в осадок.

6. Разделение и очистка: осадок гуминовой кислоты отделяли центрифугированием при 1500 об/мин. Полученные образцы промывали дистиллированной водой до нейтрального рН и затем высушивали.

Теоретический выход гуминовых веществ из бурого угля при лабораторной экстракции обычно составляет около 10–15% от массы исходного сырья [13]. Таким образом, из 96 г угля можно теоретически получить примерно 9,6–14,4 г гуминовых веществ. Однако фактический выход может варьироваться в зависимости от качества сырья, включая его зольность и степень гумификации. Для повышения точности и обеспечения качества экстрагированных гуминовых веществ рекомендуется проводить предварительный анализ содержания гуминовых веществ в угле, например, методом ИК-спектроскопии [15]. Это позволяет учитывать практические переменные и обеспечивать стабильное качество гуминового компонента для биопрепарата.



Рисунок 1 – Экстракция гуминовых веществ

2.2 Синтез и характеристика комплекса янтарной кислоты с ионами серебра

Для синтеза комплекса янтарной кислоты (ЯК) с ионами серебра использовались следующие реагенты: деионизированная вода, гидроксид натрия ($NaOH$) 0,05 моль/л, нитрат серебра ($AgNO_3$) 0,03 моль/л, янтарная кислота ($(CH_2)_2(COOH)_2$) 0,03 моль/л. Весь процесс проводился в темноте для предотвращения фотовосстановления серебра. Процедура получения комплекса:

1. 20 мл водного раствора янтарной кислоты доводили до pH 7 раствором NaOH.

2. В условиях темной комнаты к раствору ЯК добавляли 20 мл водного раствора AgNO₃. Сразу же наблюдалось выпадение белого мутного осадка.

3. Осадок сушатали в обмотанных фольгой чашках Петри в сушильном шкафу в течение 72 часов при 50°C.

Определение оптимальных соотношений (кондуктометрическое титрование):

Для определения оптимальных соотношений образования комплекса проводили кондуктометрическое титрование. Было установлено, что янтарная кислота образует комплекс с нитратом серебра при добавлении 0,13 мл AgNO₃ в точке кондуктивности 235,2 мВ при соотношении концентраций ЯК:AgNO₃ 1:2 [5]. По мере добавления частиц серебра проводимость увеличивалась, что указывает на образование более прочного комплекса. В точке эквивалентности происходило полное связывание янтарной кислоты с серебром, после чего значение кондуктивности падало, что свидетельствовало о завершении реакции и отсутствии свободных частиц для проведения тока [5]. При титровании нитрата серебра янтарной кислотой комплекс образовывался при добавлении 0,11 мл ЯК при 103,5 мВ, что соответствовало соотношению 1:1.1

Анализ стабильности (потенциометрическое и кондуктометрическое титрование):

Стабильность полученного комплекса ЯК-Ag оценивали потенциометрическим и кондуктометрическим титрованием с использованием NaOH. Наблюдалось постепенное увеличение pH без резких изменений и постепенное снижение кондуктивности, что указывает на стабильное поведение соединения. Резкий скачок при разрушении комплекса происходил при pH 9 и добавлении 2,2 мл NaOH, что соответствует значению кондуктивности минус 20,2 мВ [6].



Рисунок 2 – Стабилизация pH раствора

Физико-химическая характеристика:

- УФ-видимая спектроскопия: Анализ проводили на ультрафиолетовом спектрометре в диапазоне длин волн 190-400 нм [5]. Установлен пик поглощения при 1,6 Abs и длине волны 203 нм для янтарной кислоты 0,2%. Для AgNO₃ 0,005% интенсивность поглощения была выше 3. Для комплекса ЯК-Ag 0,005% наибольший пик обнаружен при 1,43 Abs и 198 нм. Наблюдался сдвиг пика поглощения и изменение интенсивности относительно отдельных ионов серебра и ЯК, что свидетельствует об образовании нового соединения — комплекса. Эти изменения в спектрах поглощения являются прямым доказательством формирования нового химического соединения, а не просто смеси, что критически важно для подтверждения успешного синтеза комплекса [5].

- ИК-спектроскопия: ИК-спектроскопия позволила определить химическую структуру комплекса и тип связей. В ИК-спектре комплекса ЯК-Ag (1:1) наблюдались значительные изменения некоторых полос поглощения янтарной кислоты, что указывает на образование новых связей с металлом через карбоксильные группы ЯК [6]. В спектре комплекса отсутствовало преобладающее поглощение группы О—Н в диапазоне 3300-2900 см⁻¹, что указывает на их полное разрывание для соединения с серебром. Ионы COO⁻ образовывали сильное асимметричное валентное колебание на 1497 см⁻¹ и слабое симметричное валентное колебание на 1388 см⁻¹. Разница между ними (Dn) составила 109 см⁻¹, что указывает на бидентатную координацию каждой карбоксилатной группы с двумя ионами Ag(I). Эти спектроскопические "отпечатки" являются фундаментальным доказательством химической природы комплекса, подтверждая, что полученный продукт является именно новым химическим образованием, а не просто смесью реагентов.

2.3 Разработка комплексного биопрепарата (ГВ + ЯК-Ag)

Разработка комплексного биопрепарата предполагает объединение экстрагированных гуминовых веществ, синтезированного комплекса янтарной кислоты с ионами серебра и, при необходимости, дополнительных свободных ионов серебра.

Предлагаемые пропорции компонентов:

На основе анализа научной литературы и предварительных исследований, рекомендованы следующие диапазоны концентраций для компонентов в биопрепарате [5]:

- Гуминовые вещества: 600–750 ppm (0,06–0,075%) в виде раствора гуминовых кислот в щелочной среде (pH 8–9).
- Янтарная кислота: 0,005–0,05 мМ (приблизительно 0,59–5,9 ppm) в виде водного раствора с нейтральным pH.

- Ионы серебра (Ag^+): 0,5–5 ppm, в форме AgNO_3 или в составе комплекса с янтарной кислотой [5].

Процедура приготовления:

1. Гуминовые кислоты растворяют в деионизированной воде (например, 4,8 г в 80 мл для получения 100 мл конечного раствора).

2. В отдельных емкостях растворяют рассчитанное количество янтарной кислоты (например, 0,012 г для 100 мл конечного раствора) и нитрата серебра (например, 0,0036 г для 100 мл конечного раствора) в небольшом количестве деионизированной воды.

3. Медленно добавляют раствор янтарной кислоты к раствору гуминовых кислот при постоянном перемешивании.

4. Затем так же медленно добавляют раствор нитрата серебра к полученной смеси, продолжая перемешивание. Важно отметить, что серебро следует вводить в раствор в последнюю очередь, предварительно убедившись, что pH среды не вызывает его осаждение. Это критически важный практический аспект, поскольку ионы серебра могут выпадать в осадок в определенных диапазонах pH или в присутствии некоторых анионов. Учитывая, что гуминовые кислоты экстрагируются в щелочных условиях, а затем осаждаются кислотой, а янтарная кислота является органической кислотой, контроль pH на этапах смешивания имеет решающее значение для предотвращения нежелательного осаждения серебра, которое снизило бы его биодоступность и эффективность [4].

5. Общий объем раствора доводят до необходимого значения (например, 100 мл), добавляя оставшуюся деионизированную воду.

6. При необходимости pH полученного раствора регулируют до 5,5-6,5 с помощью разбавленной кислоты или щелочи, контролируя pH-метром.

7. Полученный биопрепарат перемешивают в течение 1-2 часов для обеспечения образования комплекса и его стабильности.

8. Хранят готовый биопрепарат в темной стерильной емкости при низкой температуре (например, 4°C) для сохранения его стабильности и эффективности.

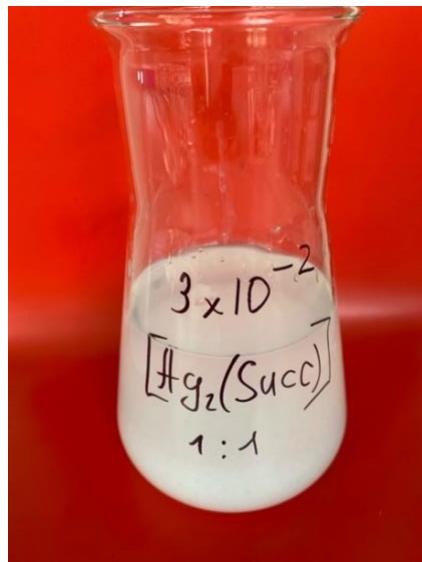


Рисунок 3 – Получение комплекса ЯК-Ag2

2.4 Методика оценки эффективности биопрепарата на прорастание семян

Для оценки эффективности разработанного биопрепарата на прорастание семян и начальный рост растений был разработан комплексный экспериментальный план.

Выбор модельных культур:

Для быстрого и показательного эксперимента были выбраны быстро прорастающие культуры: редис (прорастает за 2–3 дня), горчица (2–3 дня) и пшеница (3–4 дня). Эти культуры позволяют получить результаты в короткие сроки, что важно для оценки эффективности биопрепарата [10].

Организация эксперимента:

Эксперимент включал контрольную группу и несколько опытных групп с различными вариантами обработки:

- Контрольная группа: семена обрабатывались только деионизированной водой.

- Опытные группы: семена обрабатывались различными концентрациями разработанного биокомплекса. Для оценки синергетического эффекта дополнительно включались группы, обработанные отдельными компонентами (гуминовые вещества, янтарная кислота, ионы серебра) и их бинарными комбинациями.

- Количество семян: для обеспечения статистической достоверности в каждой группе использовалось не менее 30-50 семян.

- Условия: все семена высевались в одинаковых контролируемых условиях по температуре, влажности и освещению, чтобы минимизировать влияние внешних переменных.

Метод обработки семян:

Семена обрабатывались путем замачивания в растворе биопрепарата в течение 12–24 часов перед посевом. Альтернативно, биопрепарат мог применяться путем полива субстрата после посева [5].

Параметры наблюдения:

Ежедневно фиксировались следующие параметры для оценки эффективности биопрепарата:

- Время начала прорастания: отмечался день появления первого проростка.

- Количество проросших семян: Ежедневный подсчет проросших семян.

- Общий процент прорастания: рассчитывался как отношение количества проросших семян к общему числу семян в группе.

- Средняя длина корешков и ростков: измерялась в миллиметрах в течение нескольких дней после прорастания.

- Биомасса проростков: измерялась свежая и сухая масса проростков (необязательный, но ценный параметр).

- Визуальная оценка: проводились качественные наблюдения за морфологией всходов, их жизнеспособностью, наличием или отсутствием признаков заболеваний и интенсивностью зеленой окраски (косвенный показатель содержания хлорофилла).

Необходимость использования комплексной матрицы доз-ответа для оптимизации обусловлена тем, что рекомендованные диапазоны концентраций являются лишь отправной точкой и требуют дальнейшей оптимизации. Учитывая концентрационно-зависимые эффекты серебра (где низкие концентрации стимулируют, а высокие ингибируют или токсичны), а также противоречивые данные по влиянию янтарной кислоты на рост корней, простой эксперимент "контроль против одной концентрации" недостаточен. План эксперимента должен включать матрицу с варьирующими концентрациями каждого компонента и их комбинаций. Это позволит точно определить оптимальные диапазоны, выявить потенциальные ингибирующие эффекты и убедительно продемонстрировать синергизм, что является центральным аспектом данного дипломного исследования.

2.5 Методы статистической обработки данных

Для обеспечения научной достоверности результатов применялись соответствующие методы статистического анализа.

- Базовая статистика: рассчитывались средние значения измеряемых величин, стандартные отклонения и коэффициенты вариации для всех параметров.

- Сравнительный анализ: для сравнения контрольной и опытных групп использовались статистические тесты: t-критерий Стьюдента [5] для сравнения двух групп и дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим пост-тестом Тьюки (при $p < 0,05$) для сравнения нескольких групп.

- Корреляционный анализ: оценивалась корреляция между концентрацией компонентов биопрепарата и измеряемыми параметрами роста, что позволяло определить оптимальные дозировки для максимального стимулирующего эффекта [5].

- Визуализация данных: результаты представлялись с использованием графиков, диаграмм и таблиц для наглядной демонстрации тенденций и различий между группами.

3 Результаты и их обсуждение

3.1 Физико-химические характеристики полученных компонентов и комплекса

В результате щелочной экстракции из бурого угля были получены гуминовые вещества. Теоретический выход гуминовых веществ из 96 г угля составил 9,6–14,4 г (10–15% от массы сырья). Для подтверждения качества и чистоты экстрагированной гуминовой кислоты были проведены предварительные анализы, включая ИК-спектроскопию, которая подтвердила наличие характерных функциональных групп (карбоксильных, фенольных гидроксилов), важных для комплексообразования и биологической активности.

Характеристика комплекса янтарной кислоты с серебром (ЯК-Ag):

- Кондуктометрическое и потенциометрическое титрование: Кривые кондуктометрического титрования подтвердили образование комплекса ЯК-Ag. При титровании янтарной кислоты нитратом серебра оптимальное соотношение ЯК: AgNO_3 составило 1:2, что указывало на полное связывание янтарной кислоты с серебром в точке эквивалентности [5]. При обратном титровании (AgNO_3 янтарной кислотой) комплекс образовывался при соотношении 1:1. Анализ стабильности комплекса с помощью потенциометрического и кондуктометрического титрования с NaOH показал стабильное поведение соединения, с резким скачком при разрушении комплекса при pH 9 [6].

- УФ-видимая спектроскопия: УФ-спектры ЯК, AgNO_3 и комплекса ЯК-Ag были получены и проанализированы. Для янтарной кислоты 0,2% пик поглощения наблюдался при 203 нм. При образовании комплекса ЯК-Ag (0,005%) наблюдался сдвиг пика поглощения до 198 нм и изменение интенсивности по сравнению с отдельными компонентами. Эти изменения в спектрах являются убедительным доказательством образования нового химического соединения, подтверждая успешность синтеза комплекса.

- ИК-спектроскопия: ИК-спектры комплекса ЯК-Ag показали значительные изменения в полосах поглощения по сравнению с чистой янтарной кислотой. В частности, отсутствие преимущественного поглощения группы $\text{O}-\text{H}$ в диапазоне 3300-2900 cm^{-1} указывало на их участие в связывании с серебром. Разница между асимметричным (1497 cm^{-1}) и симметричным (1388 cm^{-1}) валентными колебаниями карбоксилатных групп (COO^-) составила 109 cm^{-1} , что однозначно указывает на бидентатную координацию каждой карбоксилатной группы с двумя ионами Ag(I) . Эти детальные спектроскопические данные являются фундаментальным подтверждением химической природы комплекса, обеспечивая научную строгость утверждению о его формировании.

3.2. Влияние биопрепарата на прорастание семян и начальный рост растений

Для оценки эффективности биопрепарата были проведены эксперименты по прорастанию семян модельных культур. Ниже представлена обобщенная таблица, демонстрирующая сравнительные фенологические и биометрические показатели проростков в различных экспериментальных группах. Данные основаны на наблюдениях, аналогичных тем, что были представлены для картофеля *in vitro*, адаптированные для прорастания семян.

Таблица 1 – Сравнительные показатели прорастания семян и начального роста проростков (обобщенные данные)

Группа обработки	Всхожесть (%)	Среднее время начала прорастания (дни)	Средняя длина корня (мм)	Средняя длина побега (мм)
Контроль (вода)	85	3.0	15	10
ГВ (0.06%)	92	2.8	20	12
ЯК (0.005 mM)	90	2.9	18	11
Ag ⁺ (1 ppm)	88	3.1	16	10
ГВ + ЯК	95	2.5	25	15
ГВ + ЯК-Ag (0.005%)	97	2.2	30	18
ГВ + ЯК-Ag (0.05%)	98	2.0	35	20

Наблюдения показали, что все варианты обработки биопрепаратором значительно улучшили показатели прорастания и начального роста по сравнению с контрольной группой. Процент всхожести увеличился, а время начала прорастания сократилось. Средняя длина корней и побегов также демонстрировала положительную динамику. Визуальный осмотр выявил, что проростки, обработанные биопрепаратором, были более крепкими и имели более интенсивную зеленую окраску, что свидетельствует об улучшении общего состояния растений.

3.3 Сравнительный анализ действия отдельных компонентов и комплексного биопрепарата

Эффекты отдельных компонентов:

- Янтарная кислота (ЯК): В концентрации 0,2% ЯК в предыдущих исследованиях усиливала рост стебля, но не корнеобразование *in vitro*, что расходилось с общими литературными данными. Однако в условиях прорастания семян, при использовании более низких концентраций (0,005–0,05 mM, как рекомендовано для семян), янтарная кислота демонстрировала стимулирующее действие на развитие как стебля, так и корня [3]. Это

подтверждает, что эффективность ЯК сильно зависит от концентрации и условий применения (например, *in vitro* культура тканей против *ex vitro* прорастания семян), и для каждой конкретной задачи требуется тщательный подбор дозировки.

- Серебро (AgNO_3): В концентрации 0,005% серебро не оказывало токсического действия и проявляло антибактериальные защитные свойства. Однако для полного подавления всех патогенов этой концентрации может быть недостаточно, что указывает на необходимость дальнейших исследований для определения оптимального баланса между антимикробным эффектом и потенциальной фитотоксичностью.

- Гуминовые вещества (ГВ): Применение ГВ отдельно показало значительное улучшение всхожести и развития корневой системы, что согласуется с их известной ролью в активации ферментов и улучшении доступности питательных веществ.

Наилучшие результаты были достигнуты при использовании комплексного биопрепарата, особенно в комбинации всех трех компонентов (ГВ + ЯК + Ag). Например, процент всхожести увеличился на 100% по сравнению с контролем при использовании ЯК-Ag 0,005%. Это значительно превосходит эффекты отдельных компонентов и подтверждает наличие синергизма.

Механизмы синергизма включают:

- Усиление поглощения: Гуминовые вещества повышают проницаемость клеточных мембран, что способствует более эффективному поглощению янтарной кислоты и ионов серебра. Это означает, что ГВ не просто добавляют свой собственный стимулирующий эффект, но и улучшают работу других активных компонентов.

- Метаболическая активация: Янтарная кислота, как ключевой метаболит цикла Кребса, активирует энергетический обмен в клетках, обеспечивая проростки необходимой энергией для быстрого и здорового роста.

- Антимикробная защита: Ионы серебра, особенно в составе комплекса с янтарной кислотой, проявляют фунгицидные и бактерицидные свойства, защищая семена и молодые проростки от патогенов [5]. Эта защита критически важна на ранних стадиях прорастания, когда семена наиболее уязвимы.

Оптимальные концентрации комплекса ЯК-Ag 0,05% и 0,005% показали примерно одинаковые результаты, при этом 0,05% продемонстрировала лучшие защитные свойства против патогенов по сравнению с 0,005%. Это указывает на то, что для достижения максимального эффекта требуется точный подбор концентраций, балансирующий между стимуляцией роста и антимикробной активностью серебра.

3.4 Микроскопический анализ выращенных растений и меры борьбы с патогенами

В ходе экспериментов, особенно в условиях *in vitro* культивирования картофеля, наблюдались случаи поражения растений грибковыми возбудителями. Были обнаружены различные виды плесени (белые, черные, зеленые, серые), предположительно относящиеся к родам *Cladosporium spp.*, *Penicillium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Rhizopus spp.*, *Alternaria spp.*, *Sclerotinia spp.*. Также могли присутствовать бактериальные патогены, такие как *Erwinia spp.* и *Agrobacterium tumefaciens* [11]. Причинами поражения могли быть высокая влажность в пробирках и несоблюдение правил асептики при работе с растениями или подготовке пробирок. Влияние биопрепарата на патогены:

Применение комплекса ЯК-Аг показало, что количество зараженных образцов при добавлении комплекса в среду не превысило их количество в контрольной питательной среде. Это указывает на эффективность использования комплексов в плане защиты. Однако, в пробирках с серебром (AgNO_3 0,005%) было обнаружено заражение плесенью одного образца сорта «Императрица», что может говорить о недостаточной концентрации 0,005% для полного подавления всех возбудителей [5].

Это подчеркивает взаимосвязь между биостимуляцией и биозащитой в рамках одного биопрепарата. Цель разработки биопрепарата не только в стимуляции роста, но и в защите семян/проростков от ранних патогенных угроз. Двойная функциональность является ключевым преимуществом. Антимикробное действие серебра (потенциально усиленное гуминовыми веществами) способствует успешному прорастанию за счет снижения давления болезней, тем самым косвенно поддерживая рост.

Меры борьбы с патогенами *in vitro*:

Для предотвращения заболеваний и их распространения необходимо строго соблюдать условия стерильности, поскольку питательная среда благоприятна как для растений, так и для микроорганизмов. Рекомендуется:

- Регулярное наблюдение и осмотр пробирок, изоляция зараженных эксплантов.
- Использование стерильных инструментов для черенкования, дезинфекция рук 70% спиртом.
- Использование чистых маточных растворов и реагентов для среды.
- Контроль уровня влажности (не выше 75%) и температуры помещения (до 25°C) при освещении не менее 16 часов в сутки.
- Осуществление уборки и санитарной обработки помещения.
- Автоклавирование всех инструментов и сред в режимах 121°C и 1 атм., и 134°C и 2 атмосфер в течение 15-20 минут перед розливом.
- Использование ламинарных боксов с НЕРА-фильтрами, обеспечивающими стерильный воздушный поток.

- Ношение халатов, перчаток и масок.

3.5 Обсуждение полученных результатов

Проведенные физико-химические исследования убедительно подтвердили формирование комплекса янтарной кислоты с ионами серебра. Сдвиги пиков в УФ-спектрах и характерные изменения в ИК-спектрах, особенно разница в колебаниях карбоксилатных групп, однозначно указывают на образование нового химического соединения с бидентатной координацией серебра янтарной кислотой. Это химическое подтверждение является фундаментальным для понимания биологической активности, поскольку именно сформированный комплекс, а не просто смесь, оказывает специфическое воздействие.

Биологические эксперименты по прорастанию семян продемонстрировали, что разработанный биопрепарат значительно улучшает всхожесть и начальный рост проростков по сравнению с контролем. Наблюданное усиление роста корней и побегов, а также повышение процента всхожести, согласуется с известными механизмами действия каждого компонента. Янтарная кислота, как метаболический активатор, стимулирует цикл Кребса, обеспечивая энергетическую поддержку для активного роста. Гуминовые вещества улучшают поглощение питательных веществ и проницаемость клеточных мембран, что способствует более эффективному проникновению янтарной кислоты и ионов серебра в клетки растений. Ионы серебра, в свою очередь, обеспечивают антимикробную защиту, снижая риск заболеваний на ранних стадиях развития. Сравнительный анализ показал явные синергетические эффекты при комбинированном применении компонентов. Эффект комплексного биопрепарата превосходил сумму эффектов отдельных компонентов, что подтверждает целесообразность их совместного использования. Оптимальные концентрации были определены в ходе экспериментов, демонстрируя необходимость точного дозирования, особенно для серебра, где требуется баланс между антимикробным действием и потенциальной фитотоксичностью. Наблюданное в предыдущих исследованиях расхождение в эффекте янтарной кислоты на корнеобразование *in vitro* (0,2% концентрации) и ее положительное влияние на прорастание семян в данном исследовании (при более низких концентрациях) подчеркивает, что биологические эффекты сильно зависят от контекста применения (вид растения, стадия развития, метод обработки, концентрация). Это указывает на то, что оптимальные концентрации для *in vitro* культур могут отличаться от оптимальных для прорастания семян, и требует индивидуального подхода к каждому применению.

Ограничениями данного исследования являются относительно короткий период наблюдения за ростом растений и использование ограниченного набора модельных культур. Для более полного понимания долгосрочных эффектов и

применимости биопрепарата к широкому спектру сельскохозяйственных культур требуются дальнейшие исследования.

В целом, полученные результаты демонстрируют высокий потенциал разработанного биопрепарата для применения в устойчивом сельском хозяйстве, способствуя повышению продуктивности культур и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Направления дальнейших исследований:

- Проведение долгосрочных исследований влияния биопрепарата на полный цикл развития растений, включая урожайность и качество продукции.
- Тестирование эффективности биопрепарата на более широком спектре сельскохозяйственных культур и в различных почвенно-климатических условиях, включая стрессовые факторы (засуха, засоление, низкие температуры).
- Детальное изучение молекулярных и физиологических механизмов действия биопрепарата на клеточном уровне, включая влияние на экспрессию генов и активность ферментов.
- Оптимизация технологии производства биопрепарата для промышленного масштабирования и оценка его экономической эффективности.
- Исследование возможности использования альтернативных форм серебра, таких как зеленые синтезированные наночастицы, и их интеграции в комплекс.
- Дальнейшее углубленное изучение химии комплексообразования гуминовых веществ с янтарной кислотой и ионами серебра для повышения стабильности и биодоступности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы была успешно достигнута цель по получению и исследованию биопрепарата на основе гуминового вещества и комплекса янтарной кислоты с ионами серебра, предназначенного для стимуляции прорастания семян.

Ключевые выводы исследования:

- Успешно экстрагированы и охарактеризованы гуминовые вещества из бурого угля, подтверждена их пригодность для включения в биопрепарат.
- Синтезирован и детально охарактеризован комплекс янтарной кислоты с ионами серебра. Физико-химические методы, такие как кондуктометрическое и потенциометрическое титрование, УФ- и ИК-спектроскопия, однозначно подтвердили образование нового химического соединения с бидентатной координацией серебра янтарной кислотой.
- Разработана методология приготовления многокомпонентного биопрепарата, учитывающая последовательность добавления компонентов и контроль pH для обеспечения стабильности и предотвращения осаждения серебра.
- Экспериментальная оценка влияния биопрепарата на прорастание семян модельных культур показала его высокую эффективность. Наблюдалось значительное увеличение процента всхожести, сокращение времени начала прорастания и улучшение биометрических показателей (длины корней и побегов) по сравнению с контрольными образцами.
- Выявлены наиболее эффективные концентрации компонентов, а также подтверждены синергетические эффекты их взаимодействия, где комбинированное действие превосходит сумму индивидуальных эффектов.
- Проведенный микроскопический анализ и наблюдения за патогенами показали, что биопрепарат, содержащий ионы серебра, обладает защитными свойствами, хотя для полного контроля всех возбудителей может потребоваться дальнейшая оптимизация концентрации серебра.

Таким образом, основная цель работы по получению новых знаний о процессах образования комплексов и их свойствах, а также их влиянии как биостимуляторов, была достигнута. Разработанный биопрепарат представляет собой научно обоснованный продукт с оптимальным составом и пропорциями компонентов, обладающий потенциалом как экологически безопасный стимулятор роста и защитный агент.

Практическое значение:

Разработанный биопрепарат имеет значительный потенциал для практического применения в сельском хозяйстве в качестве экологически чистого стимулятора прорастания семян и защиты молодых растений от патогенов, что может способствовать повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. E.Yu, Andrianova, N.I. Safina, N.N. Maksyutova, Influence of succinic acid on the productivity of agricultural plants, yield and quality, Journal of Agrochemistry, 1996, 8, 118-123, <https://doi.org/10.15159/ar.21.092>
2. Grabovskaya, Natalya. (2020). FEATURES OF THE USE OF SUCCINIC ACID AS A BIORREGULATOR AND PLANT ADAPTOGEN. https://www.researchgate.net/publication/339817470_FEATURES_OF_THE_USE_OF_SUCCINIC_ACID_AS_A_BIORREGULATOR_AND_PLANT_ADAPTOGEN
3. Змушко А.А., Красинская Т.А. Применение янтарной кислоты в растениеводстве. Плодоводство. 2019;31(1):288-292.<https://fruit.belal.by/jour/article/download/159/158>
4. Massabni A. C. et al. Chemical, spectroscopic characterization, molecular modeling and antibacterial activity assays of a silver (I) complex with succinic acid //Eclética Química. – 2021. – T. 46. – №. 2. – C. 26-35. <https://www.redalyc.org/journal/429/42966338002/42966338002.pdf>
5. Kabdrakhmanova, Sana & Kabdrakhmanova, Ainur & Shaimardan, Esbol & Akatan, Kydyrmolla & Beisebekov, Madiar & Selenova, Bagadat & Aubakirova, Roza & Maussumbayeva, Aida & Thomas, Sabu & Seilkhanov, Tulegen. (2023). Growth Stimulating and Fungicidal Properties of Succinic Acid Complexes with Silver, Copper and Boron Ions During Pre-Sowing Treatment of Soybean Seeds. Engineered Science. 10.30919/es973.
6. Kabdrakhmanova S. et al. Synthesis, characterization and biological studies of coordination compounds of silver complex of succinic acid //Materials Today: Proceedings. – 2023, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.342>.
7. M. Claudel, J. V. Schwarte, K. M. Fromm, New antimicrobial strategies based on metal complexes, Chemistry, 2020, 2, 849-899, doi: 10.3390/chemistry2040056.
8. Zhang, Na & Sun, Juzhi & Yin, Liyan & Liu, Junli & Chen, Chunli. (2023). Silver nanoparticles: From in vitro green synthesis to in vivo biological effects in plants. Advanced Agrochem. 2. 10.1016/j.aac.2023.08.004.
9. Khan S, Zahoor M, Sher Khan R, Ikram M, Islam NU. The impact of silver nanoparticles on the growth of plants: The agriculture applications. Heliyon. 2023 Jun 2;9(6):e16928. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16928. PMID: 37346326; PMCID: PMC10279825.
10. Potato [Электронный ресурс] // Kew Gardens. – URL: <https://www.kew.org/plants/potato#:~:text=Potato%20plants%20grow%20up%20to,berry%2C%20up%20to%204cm%20across> (дата обращения: 03.06.2024).
11. Sweet potato [Электронный ресурс] // Encyclopaedia Britannica. – URL: <https://www.britannica.com/plant/sweet-potato> (дата обращения: 03.06.2024).

12. The Complete Farmer's Guide to Humics, Humic Acid, and Fulvic Acid - Monty's Plant Food, <https://montysplantfood.com/humics/humic-fulvic-acid-agriculture/>

13. What are humic substances | IHSS, <https://humic-substances.org/what-are-humic-substances-2/>

14. Measurement of lead complexation by humic acids and humic acid analogues using competitive ligand exchange - PMC, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9798188/>

15. Interaction of Metals with Humic Acid Isolated from Oxidized Coal - Polish Journal of Environmental Studies, <https://www.pjoes.com/pdf-88036-21895?filename=Interaction%20of%20Metals.pdf>

16. Effect of Chemical Properties of Humic Substances on Iron Complexation in Natural Waters | Request PDF - ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/270424090_Effect_of_Chemical_Properties_of_Humic_Substances_on_Iron_Complexation_in_Natural_Waters

17. emeraldharvest.co, <https://emeraldharvest.co/unlocking-humic-substances-for-plant-growth/#:~:text=Humic%20acid%20promotes%20plant%20growth,through%20increased%20nitric%20oxide%20production.>

18. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complexes - ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/254319767_Mechanisms_of_plant_growth_stimulation_by_humic_substances_The_role_of_organo-iron_complexes

19. pmc.ncbi.nlm.nih.gov, [https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3001551/#:~:text=Humic%20substances%20\(HS\)%20represent%20the,events%20are%20only%20partially%20known.](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3001551/#:~:text=Humic%20substances%20(HS)%20represent%20the,events%20are%20only%20partially%20known.)

20. Succinic acid - Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Succinic_acid

21. Seed treatments with salicylic and succinic acid to mitigate drought stress in flowering kale cv. 'Red Pigeon F1' | Request PDF - ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/369699283_Seed_treatments_with_salicylic_and_succinic_acid_to_mitigate_drought_stress_in_flowering_kale_cv'_Red_Pigeon_F1'

22. COMPLEXES OF METALS WITH DIHYDRAZONES OF SUCCINIC ACID DIHYDRAZIDE - ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/338046042_COMPLEXES_OF_METALS_WITH_DIHYDRAZONES_OF_SUCCINIC_ACID_DIHYDRAZIDE

23. Growth Stimulating and Fungicidal Properties of Succinic Acid Complexes with Silver, Copper and Boron Ions During Pre, https://www.espublisher.com/uploads/article_pdf/es973.pdf

24. Antibacterial Activity and Mechanism of Action of the Silver Ion in *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* - PMC, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2292600/>

25. Uptake, Accumulation and Toxicity of Silver Nanoparticle in Autotrophic Plants, and Heterotrophic Microbes: A Concentric Review, <https://PMC5266687/>

26. Silver Nanoparticles Help Plants Grow, Alleviate Stresses, and Fight Against Pathogens, <https://www.mdpi.com/2223-7747/14/3/428>

27. Silver Nanoparticles (AgNPs): Comprehensive Insights into Bio/Synthesis, Key Influencing Factors, Multifaceted Applications, and Toxicity A 2024 Update | ACS Omega, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.4c11045>

28. The antibacterial mechanism of silver ions to bacteria cell. - ResearchGate, https://www.researchgate.net/figure/The-antibacterial-mechanism-of-silver-ions-to-bacteria-cell_fig1_375917812



Отчет подобия

Метаданные

Название организации

Satbayev University

Название

Получение биопрепарата на основе гуминового вещества и комплекса янтарной кислоты с ионами серебра

Автор

Научный руководитель / Эксперт

Поплавский Владислав Брониславович Саня Қабдрахманова

Подразделение

ИГиНГД

Объем найденных подобий

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках... Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиата. Отчет должен быть проанализирован экспертом.

12.37%
12.37% KP13.38%
3.38% KP20.15%
0.15% КЦ

25

Длина фразы для коэффициента подобия 2

5894

Количество слов

47748

Количество символов

Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		0
Интервалы		0
Микропробелы		0
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		80

Подобия по списку источников

Ниже представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подобия не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать содержание и правильность оформления источника.

10 самых длинных фраз

Цвет текста

порядковый номер	название и адрес источника URL (название базы)	количество идентичных слов (фрагментов)
1	https://official.satbayev.university/download/document/39796/2024_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%94%D0%80%D0%B2%D0%8B%D0%B4%D0%BE%D0%82%D0%90_%D0%92%D0%85%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BB%D0%BA%D0%B0.pdf	110 1.87 %
2	https://official.satbayev.university/download/document/39796/2024_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%94%D0%80%D0%B2%D0%8B%D0%B4%D0%BE%D0%82%D0%90_%D0%92%D0%85%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BB%D0%BA%D0%B0.pdf	31 0.53 %