

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Ғылым жаршысы: пәнаралық = Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета имени Сакена Сейфуллина: междисциплинарный. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2025. -№ 2 (125). - Р. 184-196. - ISSN 2710-3757, ISSN 2079-939X

doi.org/ 10.51452/kazatu.2025.2(125).1953

УДК 579.222.2+579.26

Исследовательская статья

Совместное применение гуминовых удобрений и углекислого газа для улучшения роста огурцов

Казанкапова М.К.^{1,2,3} , Касенова Ж.М.^{1,2} , Ермағамбет Б.Т.^{1,2} , Болат А.К.⁴ ,
Кадырбаева Г.Р.⁴ , Ордабаева С.Р.² , Малгаждарова А.Б.^{1,2} , Кожамуратова У.М.^{1,2} 

¹ТОО «Институт химии угля и технологии», Астана, Казахстан,

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

³Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана, Казахстан,

⁴Специализированный лицей №82 «Дарын», Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Казанкапова М.К.: maira_1986@mail.ru

Соавторы: (1: ЖК) zhanar_k_68@mail.ru; (2: БТ) bake.yer@mail.ru; (3: АБ) coaltech@bk.ru;
(4: ГК) akshekina11@gmail.com; (5: СО) ordabayeva_saltanat@mail.ru;
(7: АМ) malgazhdarova.ab@mail.ru; (8: УК) kozhamuratova.u@mail.ru

Получено: 18-04-2025 **Принято:** 23-06-2025 **Опубликовано:** 30-06-2025

Аннотация

Предпосылки и цель. Глобальное потепление, вызванное выбросами парниковых газов, таких как углекислый газ (CO₂) и метан (CH₄), является серьезной экологической проблемой. Для решения этой экологической проблемы в настоящее время необходимы методы, сочетающие сокращение выбросов парниковых газов и повышение эффективности сельского хозяйства. Масштабное использование ископаемого топлива вносит значительный вклад в увеличение выбросов CO₂ в атмосферу: в настоящее время ежегодные выбросы достигают 3200-3600 миллионов тонн. Целью данной научно-исследовательской работы было изучение влияния гуминовых удобрений, обработанных диоксидом углерода, на рост и развитие огурца сорта «Атлантис F1» и инновационного метода утилизации CO₂ с использованием гуминовых веществ (ГВ).

Материалы и методы. В ходе исследований удобрение было получено путем насыщения гуминовых веществ, выделенных из окисленного бурого угля, газом CO₂ в лабораторной установке. Затем были приготовлены три различных раствора гумата калия (чистый, раствор, насыщенный CO₂, и осадок, насыщенный CO₂) в концентрации 0,1% и проведен эксперимент по выращиванию огурцов в условиях теплицы. Контролировались скорость роста, количество листьев, цветение и устойчивость растений к жаре.

Результаты. Исследование показало, что гуминовое удобрение, насыщенное углекислым газом, оказало положительное влияние на быстрое прорастание огурцов и рост листьев и цветов. В частности, наиболее эффективные результаты показало удобрение из шлама, насыщенного диоксидом углерода.

Заключение. Целью данного исследования является изучение синергетического воздействия гуминовых веществ и CO₂ на рост растений с целью внести вклад в устойчивые методы ведения сельского хозяйства, которые могут удовлетворить острую потребность в эффективных стратегиях управления выбросами углерода.

Ключевые слова: глобальное потепление; утилизация углекислого газа; гуминовые вещества; тепличное выращивание; рост огурцов; сельское хозяйство.

Введение

За последние три тысячелетия промышленные отходы привели к образованию различных газов, наносящих большой ущерб здоровью и окружающей среде. Одним из самых опасных для окружающей среды являются парниковые газы. В последние годы углекислый газ (CO_2) и другие парниковые газы привлекли внимание Организацию Объединенных Наций (ООН). При сжигании ископаемого топлива на энергетических установках и в химической промышленности выделяются парниковые газы, включая углекислый газ (CO_2), метан (CH_4), гидрофторуглероды, оксид азота (N_2O) и водяной пар [1].

Изменение климата оказывает разнообразное воздействие на здоровье человека, включая изменения погодных условий, распространение заболеваний и социальные волнения [2].

Увеличение выбросов парниковых газов связано с ростом числа заболеваний, в том числе инфекционных [3]. Основными источниками выбросов парниковых газов являются предприятия электроэнергетики и транспорт. Угольные электростанции вносят значительный вклад, составляя 20% от общих выбросов. Вырубка лесов и изменения в почвах также способствуют выбросам углекислого газа и метана [4]. Потери метана, особенно из угольных шахт, являются значительным фактором увеличения концентрации парниковых газов [5], при этом 33% приходится на производство и транспортировку [6].

С промышленной точки зрения наибольшее количество парниковых газов выбрасывается нефтехимической промышленностью, а также такими отраслями, как производство стали, цемента, аммиака и извести [7].

Современные методы поглощения CO_2 , такие как очистка аминами, позволяют получать почти чистый CO_2 . Для снижения выбросов CO_2 в атмосферу необходимо его дальнейшее использование или хранение. Гуминовые кислоты могут быть перспективной альтернативой. Они представляют собой сложную смесь различных кислот с карбоксильными и фенолатными группами, устойчивую к дальнейшему биоразложению. Гуминовые кислоты действуют как полиэлектролиты/полиамфолиты с ароматическим ядром на основе полифенолов или хинонов, имея функциональные боковые структуры, содержащие карбоксильные, фенольные и карбонильные группы, а также фрагменты сахаров и пептидов.

Гуминовые вещества – это стабильная совокупность органических соединений, образующихся в почве из растительных и животных остатков в результате биологических и биохимических процессов. Под действием микроорганизмов гуминовые вещества превращаются в соединения углерода (карбонаты), азота (нитраты) и фосфора (фосфаты). Эти вещества хорошо растворяются в воде, что позволяет растениям легко усваивать их в качестве питательных элементов. Остатки растений и животных, оседая на поверхности почвы, постепенно растворяются и смешиваются с почвой, повышая ее плодородие. Качество гуминовых веществ зависит от состава исходных растительных и животных отходов, а также от типа биологических и биохимических процессов.

Экспериментально установлено, что гуминовые кислоты составляют от 20 до 70 мас. % органической массы торфа в зависимости от его типа (увеличивается при переходе от верхового к низинному) и принадлежности к определенной группе (наибольшее содержание гуминовых кислот у древесных торфов). В углях содержание гуминовых кислот варьируется еще шире, в зависимости от природы углей и степени их окисленности. Максимальное содержание гуминовых кислот (до 83 мас. %) наблюдается в глубокоокисленных бурых и выветрившихся углях [8, 9].

Схема общей структуры показана на рисунке 1.

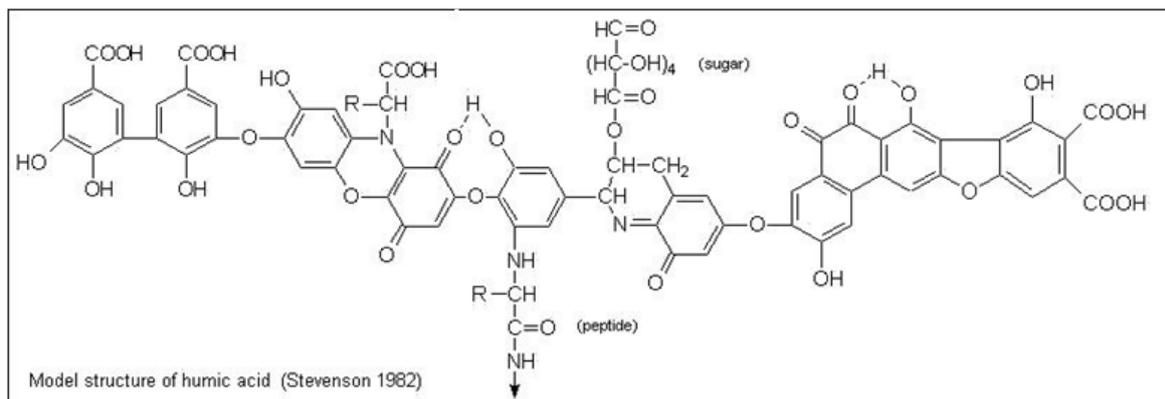


Рисунок 1 – Структура образца гуминовой кислоты по Стивенсону (1982) [10]

Гуминовые вещества повышают проницаемость клеточных мембран, способствуя проникновению в клетку азота, фосфора, калия, железа и повышая устойчивость растений к неблагоприятным условиям (пестициды, морозы, засуха, высокая соленость). Доказано, что гуминовые вещества усиливают интенсивность фотосинтеза и дыхания растений, а также белковый и фосфорный обмен. Фульвокислоты играют ключевую роль в транспорте микроэлементов и питательных веществ из почвы к растениям, облегчая их усвоение. Гуминовые удобрения могут снизить использование химических удобрений до 70% [11, 12].

Гуминовые вещества привлекли внимание благодаря своему потенциалу в секвестрации углерода, то есть в процессе захвата и хранения атмосферного CO_2 . Их способность связывать углерод в значительной степени обусловлена сложной структурой, включающей различные функциональные группы, такие как карбоксильные, фенольные и гидроксильные группы. Эти группы могут взаимодействовать с углеродными молекулами, эффективно иммобилизируя их в почвенной матрице.

Секвестрация CO_2 с помощью гуминовых веществ происходит через несколько механизмов. Во-первых, они способствуют физической стабилизации органического углерода в почвах, способствуя образованию почвенных агрегатов. Эта физическая защита снижает доступность углерода для разлагателей, тем самым продлевая его время пребывания в почве. Во-вторых, гуминовые вещества могут химически связывать CO_2 через процессы сорбции, когда молекулы CO_2 поглощаются на поверхности гуминовых частиц.

Учитывая эти возможности, гуминовые вещества представляют собой перспективный природный инструмент для повышения углеродного запаса в почвах и снижения уровня атмосферного CO_2 . Их широкая доступность и многофункциональные свойства делают их привлекательным вариантом для устойчивых методов управления углеродом [13].

Целью данного исследования является получение образцов гуминовых веществ, обработанных диоксидом углерода, проявляющих ростостимулирующую активность, и изучение их влияния на рост и развитие огурцов сорта «Atlantis F1».

Задачами исследования являются получение образцов гуминовых веществ, обработанных углекислым газом при различных условиях, и их характеристика; оценка ростостимулирующей активности образцов гуминовых веществ, обработанных углекислым газом, на примере овощной культуры огурцов сорта «Atlantis F1».

Актуальность работы заключается в решении двух значимых задач современного сельского хозяйства и экологии: утилизация диоксида углерода (CO_2) и повышение эффективности сельскохозяйственных удобрений. Диоксид углерода является одним из основных парниковых газов, способствующих глобальному изменению климата. Снижение его концентрации в атмосфере является важной задачей для смягчения климатических изменений. Одним из инновационных методов утилизации CO_2 является его поглощение гуминовыми веществами.

В данном исследовании рассматривается применение гуматов, насыщенных углекислым газом, для стимуляции роста огурцов сорта «Atlantis F1». Этот сорт огурцов был выбран за свои

высокие показатели урожайности и устойчивости к заболеваниям. Полученные результаты могут быть полезны для разработки новых методов повышения эффективности сельскохозяйственного производства, что особенно актуально в условиях растущих потребностей в продовольствии и изменения климата.

Кроме того, использование гуматов, насыщенных CO_2 , способствует решению проблемы утилизации выбросов от тепловых электростанций, которые являются значительным источником углекислого газа. Эти методы могут значительно уменьшить выбросы и превратить углекислый газ в ценные сельскохозяйственные продукты, тем самым улучшая экологическую ситуацию и повышая эффективность сельского хозяйства.

Материалы и методы

Методики получения гуматов. В Казахстане, в сотрудничестве ТОО «Институт химии угля и технологии» с ТОО «НПО Казтехноуголь», разработана инновационная технология производства высококачественного экологически чистого гумусового органоминерального удобрения из окисленного бурого угля. Полученный продукт, высококонцентрированный жидкий раствор, назван «Казуглегумус» (рисунок 2).



Рисунок 2 – Удобрение «Казуглегумус»

Удобрение «Казуглегумус» предназначено для всех видов культур и типов почв и рекомендуется на всех этапах роста растений, от посадки семян до обработки почвы после сбора урожая. Основные активные компоненты включают более 60% гуминовых кислот и более 2% фульвокислот, которые стимулируют развитие корневой системы и надземной части растений. Удобрение также содержит макро- и микроэлементы: азот, фосфор, калий, кальций, магний, марганец, кремний и другие вещества. Химический состав удобрения и преимущества приведены в таблицах 1 и 2.

Преимущества «Казуглегумус»:

- совместимость с агрохимическими препаратами, другими удобрениями и биопрепаратами;
- простота использования и экономичность;
- отсутствие тяжелых металлов и вредных веществ.

Таблица 1 – Элементный состав удобрения «Казуглегумус»

Содержание элементов на сухое вещество, мас. %									
C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Fe	F
35,95	30,16	0,44	0,25	8,57	1,12	0,14	21,05	1,47	0,84

Таблица 2 – Характеристики удобрения «Казуглеумус»

Наименование показателей, единица измерения	Нормы нормативных документов	Фактические показатели	Нормативные документы для методов испытаний
Внешний вид, цвет	Жидкость от темно-коричневого до черного цвета	Темно-коричневая жидкость	ГОСТ 9097-82
Водородный показатель, рН	11,6	11,6	ГОСТ 27979-88
Массовая доля гуминовых кислот (по сухому веществу), не менее, %	54,86	56	ГОСТ 9517-94

Для исследования использовался гумат калия «Казуглеумус» в концентрации 0,1%. Были приготовлены три различных образца:

1. Гумат калия (0,1%).
2. Гумат калия, насыщенный углекислым газом в растворе (0,1%).
3. Гумат калия, насыщенный углекислым газом в виде осадка (0,1%).

Методики получения продуктов, содержащих диоксид углерода. Поглощение углекислого газа гуминовыми удобрениями проводилось на специальной лабораторной установке (рисунок 3). Углекислый газ подавался из баллона при концентрации 13%, что соответствует содержанию дыма от тепловых электростанций (10–15%). После насыщения углекислым газом образовались раствор и осадок, из которых были приготовлены растворы с концентрацией 0,1%.

Углекислый газ может реагировать с гуматом калия следующим образом [14]:

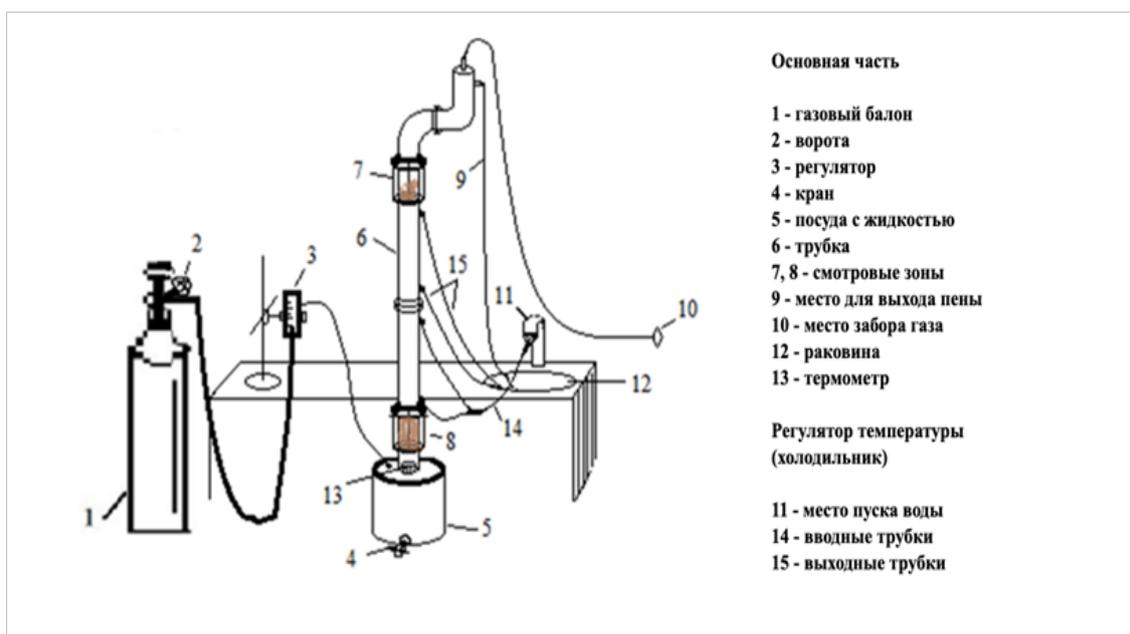
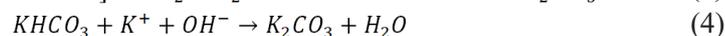
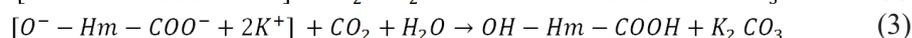
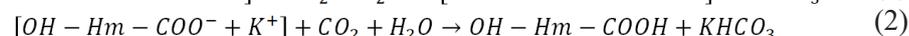
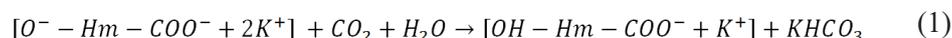


Рисунок 3 – Установка поглощения углекислого газа (CO₂) удобрением «Казуглеумус»

Методики характеристики продуктов. Показатель кислотности (рН) растворов измеряли с помощью специального прибора, результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения pH растворов

№	Наименование	pH
1	Гумат калия (0,1%)	6,53
2	Гумат калия + CO ₂ (раствор) (0,1%)	5,93
3	Гумат калия + CO ₂ (осадок) (0,1%)	6,67

Методика проведения испытания с семенами. Проведен эксперимент с использованием 0,1% раствора гумата калия до и после поглощения углекислого газа, а также чистой воды в качестве контрольного образца. Для анализа использовались семена огурца обыкновенного (*Cucumis sativus* L.) сорта «Atlantis F1».

Сорт «Atlantis F1» является ранним гибридом с преимущественно женским типом цветения. Плоды однородные, темно-зеленого цвета, не горькие, длиной 10-12 см, с хорошим соотношением длины и толщины, что делает этот гибрид идеальным для маринования и консервирования. Период от всходов до плодоношения составляет 46-52 дня.

1. Высадка семян: семена были посажены в почву, увлажнены водой и накрыты пленкой до появления ростков.
2. Уход за почвой: влажность почвы поддерживалась на оптимальном уровне, особенно на солнце. При подсыхании почва увлажнялась с помощью сеялки.
3. Удобрение: раз в неделю растения обрабатывались удобрениями №1, №2, №3. Обеспечивался одинаковый объем растворов для всех ячеек.
4. Наблюдение за ростом: записывались данные о появлении первых ростков, количество проросших семян, рост растений измерялся линейкой.
5. Пересадка: через месяц растения пересаживались в более крупные горшки.
6. Запись изменений: отмечалось появление листьев, бутонов и цветов, полив проводился водой (ячейка №0) и соответствующим удобрением (ячейки №1, №2, №3).
7. Наблюдение за цветением: отмечалось количество цветков в каждой ячейке.
8. Анализ почвы: анализировалась исходная и использованная почва в конце эксперимента.
9. Заключение: подготовка заключения по результатам исследования.

Результаты и обсуждение

Результаты показали, что первые всходы семян огурцов появились через неделю в ячейках №2 (гумат калия + CO₂ (раствор) 0,1%) и №3 (гумат калия + CO₂ (осадок) 0,1%), что указывает на благоприятное влияние углекислого газа на ранний рост растений. В двух других ячейках ростки появились через 10 дней. Ячейка №2 показала наибольшую длину ростка – 110 см, за ней следует ячейка №3 с результатом 106 см. На основе полученных данных построена диаграмма (рисунок 4).

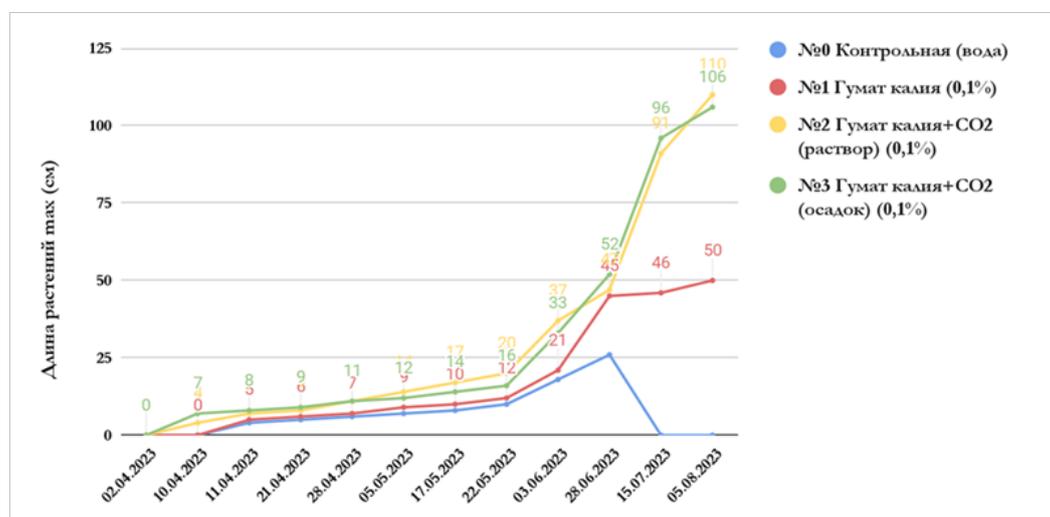


Рисунок 4 – Динамика роста огурцов сорта «Atlantis F1» под действием гумата калия и CO₂

Таблица 4 – Результаты наблюдений

Последовательность наблюдения	Дата	Контрольная (вода)	№1 Гумат калия (0,1%)	№2 Гумат калия+CO ₂ (раствор) (0,1%)	№3 Гумат калия+CO ₂ (осадок) (0,1%)
1	02.04.2023	Семена заложены	Семена заложены	Семена заложены	Семена заложены
2	10.04.2023	-	-	4 см	7 см
3	11.04.2023	4 см	5 см	7 см	8 см
4	13.04.2023	Все семена проросли	Проросли в 4-х ячейках	Проросли в 6-ти ячейках	Проросли в 6-ти ячейках
5	21.04.2023	5 см	6 см	8 см	9 см
6	28.04.2023	6 см	7 см	11 см	11 см
7	05.05.2023	7 см	9 см	14 см	12 см
8	17.05.2023	8 см	10 см	17 см	14 см
9	22.05.2023	10 см	12 см	20 см	16 см 1 цветок
10	03.06.2023	№1-18 см №2-17 см	№1-12 см №2-21 см	№1-30 см №2-37 см 1 цветок	№1-33 см №2-31 см 3 цветка
11	28.06.2023	№1-26 см №2-17 см 6 цветков 9 листьев Л _{max} =9 см	№2-45 см 6 цветков 9 листьев Л _{max} =8 см	№1-35 см №2-47 см 6 цветков 22 листка Л _{max} =13 см	№1-52 см №2-35 см 10 цветков 23 листка Л _{max} =12 см
12	15.07.2023	Засохли	№2-46 см 6 цветков 13 листьев Л _{max} =10 см Л _{min} =5 см	№1-35 см №2-91 см 10 цветков 25 листьев Л _{max} =13 см Л _{min} =3 см	№1-96 см №2-38 см 12 цветков 26 листьев Л _{max} =13 см Л _{max} =3 см
13	05.08.2023	Засохли	№2 - 50 см 7 цветков 15 листьев Л _{max} =10 см Л _{min} =5 см	№1-41 см №2-110 см №1-2 цветков №2-8 цветков №1-6 листьев №2-15 листьев Л _{max} =13 см Л _{min} =3 см	№1-106 см №1-8 цветков №1-16 листьев Л _{max} =11 см Л _{max} =4 см

Результаты эксперимента по выращиванию огурцов сорта «Atlantis F1» с использованием различных удобрений показали значительные различия в росте и развитии растений.

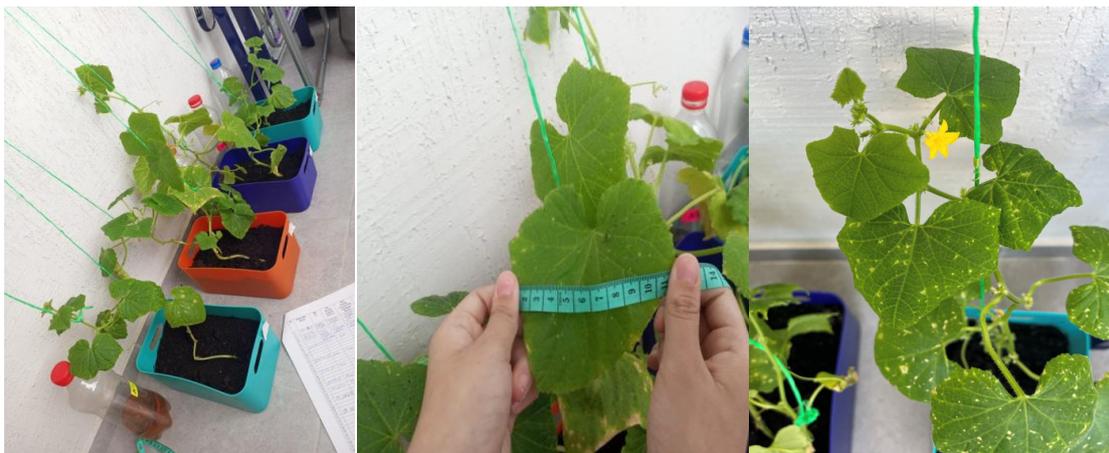


Рисунок 5 – Результаты эксперимента по выращиванию огурцов сорта «Atlantis F1»

Хронология ключевых событий:

22 мая 2023 года в ячейке №3 (гумат калия + CO₂ (осадок) 0,1%) появился первый цветок, что свидетельствует о более раннем начале цветения при использовании данного удобрения. 1 июня огурцы были перемещены в теплицу, но из-за экстремально высокой температуры (43 °С) 3 июня растения погибли. После этого эксперимент был продолжен на балконе.

К 28 июня 2023 года наблюдалась следующая картина цветения:

Ячейка №3 (гумат калия + CO₂ (осадок) 0,1%): 10 цветков.

Ячейки №0 (вода), №1 (гумат калия 0,1%), №2 (гумат калия + CO₂ (раствор) 0,1%): по 6 цветков.

Анализ листового аппарата выявил следующее:

- Ячейка №3: 23 листа, максимальный размер 12 см.
- Ячейка №2: 22 листа, максимальный размер 13 см.
- Ячейка №1: 9 листьев, максимальный размер 8 см.
- Ячейка №0: 9 листьев, максимальный размер 9 см.

Эти данные подтверждают положительное влияние удобрений, насыщенных углекислым газом, на развитие листового аппарата.

15 июля 2023 года, при температуре 35-40 °С, огурцы в ячейке №1 засохли, демонстрируя низкую устойчивость к жаре. Растения в ячейках №2 и №3 показали наибольшую устойчивость к высоким температурам, увеличив количество цветков до 10 и 12 цветков, количество листьев в ячейках №2 и №3 также увеличилось.

Анализ листового аппарата на 15 июля 2023 года:

- Ячейка №3: 26 листьев, максимальный размер 13 см.
- Ячейка №2: 25 листьев, максимальный размер 13 см.
- Ячейка №1: 13 листьев, максимальный размер 10 см.

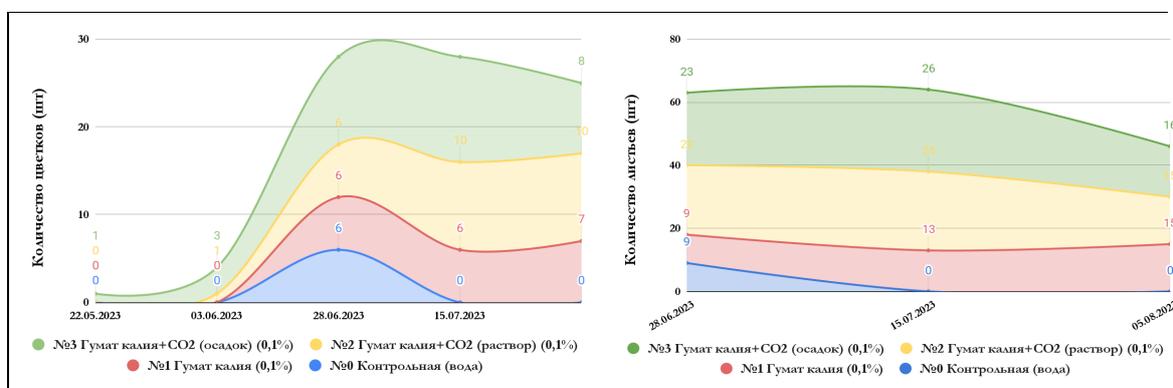


Рисунок 6 – Сравнение количества цветков и листьев огурцов при использовании различных видов гуминовых удобрений

20 июля 2023 года в ячейке №3 был замечен первый огуречный узел, что указывает на более раннее начало плодоношения. Впоследствии плоды начали формироваться в ячейках №2 и №1.

Эксперимент показал, что удобрения на основе гумата калия, обогащенные CO_2 , особенно в форме осадка (ячейка №3), оказывают наиболее благоприятное воздействие на рост и развитие огурцов сорта «Atlantis F1». Растения, обработанные этими удобрениями, демонстрировали более раннее цветение, лучшее развитие листового аппарата, более высокую устойчивость к жаре и более раннее плодоношение. Эти результаты свидетельствуют о потенциале использования гуминовых веществ, обогащенных CO_2 , для повышения урожайности и устойчивости сельскохозяйственных культур.

Для подтверждения достоверности выявленных различий в росте и развитии растений, выращенных с использованием различных видов гуминовых удобрений, проведён статистический анализ собранных экспериментальных данных. В частности, по каждому параметру (длина стебля, количество листьев, количество цветков) были рассчитаны средние значения и стандартное отклонение. Полученные значения продемонстрировали меньшую дисперсию в опытных группах (№2 и №3), что указывает на стабильное положительное влияние удобрений, насыщенных CO_2 .

Для оценки статистической значимости различий между контрольной группой и опытными вариантами был применён t-критерий Стьюдента. В большинстве случаев различия оказались статистически значимыми ($p < 0.05$), особенно в отношении длины побегов и количества цветков, что подтверждает эффективность гуматов, насыщенных углекислым газом.

Таким образом, статистическая обработка результатов эксперимента подтверждает наблюдаемую тенденцию: гуминовые удобрения, особенно в виде осадка после насыщения CO_2 , оказывают выраженное стимулирующее действие на рост и развитие огурцов сорта «Atlantis F1».

Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии гуминовых веществ на физиологическое состояние объекта исследования. Внесение гуматов способствовало активации метаболических процессов, что проявлялось в улучшении усвоения питательных элементов, стимуляции роста и повышении устойчивости к неблагоприятным условиям среды. Известно, что гуматы способны регулировать проницаемость клеточных мембран, активизировать ферментные системы, а также усиливать фотосинтетическую активность. Эти эффекты, в совокупности, приводят к улучшению общего физиологического статуса растений и восстановлению нарушенных почвенных функций. Таким образом, применение гуминовых соединений можно рассматривать как эффективный подход к биостимуляции и ремедиации, что подтверждается не только полученными данными, но и данными, представленными в ряде публикаций [2, 5, 6].

Заключение

В результате исследования было доказано, что гуминовые вещества, полученные из окисленного угля, оказывают значительное положительное влияние на рост и развитие огурцов сорта «Atlantis F1», а также способствуют эффективной утилизации углекислого газа (CO_2). Основные выводы и значимость полученных результатов можно выделить следующим образом:

Ускорение процесса прорастания: в ячейках №2 (гумат калия + CO_2 (раствор) 0,1%) и №3 (гумат калия + CO_2 (осадок) 0,1%) семена проросли быстрее, чем в контрольной ячейке и ячейке с гуматом калия без CO_2 . Это указывает на стимулирующее воздействие углекислого газа в составе удобрения на процесс начального роста растений.

Увеличение числа цветков и листьев: в ячейках с добавлением углекислого газа (№2 и №3) наблюдались более высокие показатели по количеству цветков и листьев по сравнению с другими ячейками. Наибольшее количество листьев зафиксировано в ячейке №3 (26 листьев), а цветков - также в ячейке №3 (12 цветков). Эти результаты свидетельствуют о том, что гуматы калия в сочетании с углекислым газом способствуют более интенсивному образованию биомассы.

Повышенная устойчивость к неблагоприятным условиям: растения, выращенные в ячейках с гуматом калия и CO_2 , показали высокую устойчивость к жарким климатическим условиям (35-40 °C) и периоду засухи, который достигал до 15 дней без полива. Такие стрессовые условия привели к гибели растений в контрольной группе, однако в ячейках №1, №2 и №3 растения продолжали развиваться и цвести. Это делает гуминовые удобрения перспективными для

применения в засушливых регионах с жарким климатом, таких как южные регионы Казахстана.

Влияние на урожайность: Помимо улучшения параметров роста, гуматы калия с углекислым газом способствовали формированию большего числа плодов. Это подчеркивает их роль не только как средств для улучшения устойчивости растений к стрессовым факторам, но и как важного элемента, повышающего общую урожайность.

Экологическая значимость: Использование гуминовых удобрений, обогащенных углекислым газом, способствует решению проблемы парникового эффекта, утилизируя CO_2 , который является основным парниковым газом. При этом использование таких удобрений может стать частью более широкого подхода к борьбе с изменением климата, так как они помогают сокращать выбросы CO_2 , одновременно улучшая агрономические показатели сельскохозяйственных культур.

Безопасность и эффективность: Гуминовые удобрения на основе окисленного угля, обогащенные K_2CO_3 и CO_2 , продемонстрировали не только высокую эффективность в улучшении роста растений, но и экологическую безопасность. Это натуральные органо-минеральные продукты, которые могут быть широко применены в сельском хозяйстве без ущерба для окружающей среды.

Проведенное исследование подтверждает, что гуминовые удобрения, обогащенные углекислым газом, являются перспективным и эффективным решением для повышения урожайности и устойчивости растений в сложных климатических условиях. Дальнейшие исследования в этом направлении могут привести к более широкому применению подобных удобрений в сельском хозяйстве, особенно в регионах, подверженных жаре и засухе, что, в свою очередь, будет способствовать улучшению экологической ситуации и повышению продовольственной безопасности.

Вклад авторов

МК, БТ и ЖК: концептуализировали и оформили исследование, провели всесторонний анализ литературы, интерпретировали полученные данные и подготовили первоначальный вариант рукописи. АБ, ГК и СО: участвовали в постановке эксперимента, сборе и обработке экспериментальных данных. АМ и УК: провели критический анализ и окончательную редакцию рукописи. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о финансировании

Работа является результатом, полученным в ходе реализации проекта AP19679324 «Исследование и рекультивация нефтезагрязненных земель гуминовыми веществами», финансируемого в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Список литературы

- 1 Tan, Z. (2014). Air pollution and Greenhouse Gases. London: *Springer*, 320. DOI: 10.1007/978-981-287-212-8
- 2 Buhre, BJP, Elliott, LK, Sheng, CD, Gupta, RP, Wall, TF. (2005). Oxy-fuel combustion technology for coal-fired power generation. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31(4), 283-307. DOI: 10.1016/j.peccs.2005.07.001.
- 3 Kou, Y., et al. (2006). Absorption and Capture of Methane into Ionic Liquid. *Journal of Natural Gas Chemistr*, 15, 282-286. DOI: 10.1016/S1003-9953(07)60007-3.
- 4 Dantas, T., et al. (2012). Separation of Carbon Dioxide from Flue Gas Using Adsorption on Porous Solids. Greenhouse gases: capturing, utilization and reduction. *Croatia*, 57-80. DOI: 10.13140/2.1.2092.6404.
- 5 *About Coal Mine Methane*. (2024). U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/cmor/about-coal-mine-methane>
- 6 Chen, P. (2012) Absorption of Carbon Dioxide in a Bubble-Column Scrubber. Greenhouse gases: capturing, utilization and reduction. *Croatia*, 95-116. DOI: 10.5772/32049.

7 *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2011*. (2024). U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2011>

8 Раковский, ВЕ, Пигулевская, ЛВ. (1978). *Химия и генезис торфа*. М.: Наука, 231.

9 Камнева, АИ, Платонов, ВВ. (1990). *Теоретические основы химической технологии горючих ископаемых*. М.: Наука, 287.

10 Aguilar, F., et al. (2009). Chromium (III)-, iron (II)-and selenium-humic acid/fulvic acid chelate and supplemented humifulvate added for nutritional purposes to food supplements. *EFSA JOURNAL*, 1147, 1-36.

11 Ермағамбет, БТ, Нурғалиев, НУ, Касенова, ЖМ, Зикирина, АМ. (2016). Получение гуминового органоминерального удобрения из бурого угля. *Научный журнал*, 10(11), 14-16.

12 Попов, АИ. (2004). *Гуминовые вещества: свойства, строение, образование*. Под ред. Е.И. Ермакова. СПб.: Изд-во СП.: 248.

13 Tang, Ch., Li, Y., Sun, J., Antonetti, M., Yang, F. (2021). Artificial humic substances enhance microbial activity for CO₂ sequestration. *iScience*, 24: 6, 102647. DOI: 10.1016/j.isci.2021.102647.

14 Spietz, T., Kazankapova, M., Dobras, S., Kassenova, Zh., Yermagambet, B., Khalimon, A., Stelmach, S. (2024). Characterization of humic acid salts and their use for reducing CO₂. *Minerals*, 14, 947. DOI: 10.3390/min14090947.

References

1 Tan, Z. (2014). *Air pollution and Greenhouse Gases*. London: Springer, 320. DOI: 10.1007/978-981-287-212-8_1.

2 Buhre, BJP, Elliott, LK, Sheng, CD, Gupta, RP, Wall, TF. (2005). Oxy-fuel combustion technology for coal-fired power generation. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31(4), 283-307. DOI: 10.1016/j.peccs.2005.07.001.

3 Kou, Y., et al. (2006). Absorption and Capture of Methane into Ionic Liquid. *Journal of Natural Gas Chemistry*, 15, 282-286. DOI: 10.1016/S1003-9953(07)60007-3.

4 Dantas, T., et al. (2012). Separation of Carbon Dioxide from Flue Gas Using Adsorption on Porous Solids. *Greenhouse gases: capturing, utilization and reduction. Croatia*, 57-80. DOI: 10.13140/2.1.2092.6404.

5 *About Coal Mine Methane*. (2024). U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/cmop/about-coal-mine-methane>

6 Chen, P. (2012) Absorption of Carbon Dioxide in a Bubble-Column Scrubber *Greenhouse gases: capturing, utilization and reduction. Croatia*, 95-116. DOI: 10.5772/32049.

7 *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2011*. (2024). U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2011>

8 Rakovskii, VE, Pigulevskaya, LV. (1978). *Khimiya i genezis torfa*. М.: Nauka, 231.

9 Kamneva, AI, Platonov, VV. (1990). *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii goryuchikh iskopaemykh*. М.: Nauka, 287.

10 Aguilar, F., et al. (2009). Chromium (III)-, iron (II)-and selenium-humic acid/fulvic acid chelate and supplemented humifulvate added for nutritional purposes to food supplements. *EFSA JOURNAL*, 1147, 1-36.

11 Yermagambet, БТ, Нурғалиев, НУ, Касенова, ЖМ, Зикирина АМ. (2016). Poluchenie guminovogo organomineralnogo udobreniya iz burogoulya. *Nauchnyi zhurnal*, 10(11), 14-16.

12 Попов, АИ. (2004). *Guminovye veshchestva: svoystva, stroenie, obrazovanie*. Pod red. E.I. Ermakova. SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 248.

13 Tang, Ch., Li, Y., Sun, J., Antonetti, M., Yang, F. (2021). Artificial humic substances enhance microbial activity for CO₂ sequestration. *iScience*, 24: 6, 102647. DOI: 10.1016/j.isci.2021.102647.

14 Spietz, T., Kazankapova, M., Dobras, S., Kassenova, Zh., Yermagambet, B., Khalimon, A., Stelmach, S. (2024). Characterization of humic acid salts and their use for reducing CO₂. *Minerals*, 14, 947. DOI: 10.3390/min14090947.

Қиярдың өсуін жақсарту үшін гуминді тыңайтқыштар мен көмірқышқыл газын бірге қолдану

Казанкапова М.К., Касенова Ж.М., Ермағамбет Б.Т., Болат А.К.,
Кадырбаева Г.Р., Ордабаева С.Р., Малгаждарова А.Б., Кожамуратова У.М.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Көмірқышқыл газы (CO_2) және метан (CH_4) сияқты парниктік газдардың шығарындыларынан туындайтын жаһандық жылыну маңызды экологиялық мәселе. Бұл экологиялық мәселені шешу үшін қазіргі уақытта парникті газдарды азайту мен ауыл шаруашылығының тиімділігін арттыруды біріктіретін әдістер қажет болып табылады. Қазба отындарын ауқымды пайдалану атмосферадағы CO_2 -нің ұлғаюына айтарлықтай ықпал етеді, қазіргі кездегі жылдық шығарындылар 3200-3600 млн т жетеді. Осы зерттеу жұмысының мақсаты – көмірқышқыл газымен өңделген гуминді тыңайтқыштардың «Atlantis F1» қияр сортының өсуі мен дамуына әсерін және гуминдік заттарды (ГЗ) пайдалану арқылы CO_2 утилизациясының инновациялық тәсілін зерттеу болып табылды.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу жұмысының барысында тотыққан қоңыр көмірден алынған гуминді заттарды зертханалық қондырғыда CO_2 газымен қанықтыру арқылы тыңайтқыш алынды. Кейін 0,1% концентрациядағы үш түрлі гумат калий ерітіндісі (таза, CO_2 -мен қаныққан ерітінді және CO_2 -мен қаныққан тұнба) дайындалып, жылыжай жағдайында қияр өсіру тәжірибесі жүргізілді. Өсімдіктердің өсу қарқыны, жапырақ саны, гүлденуі және ыстыққа төзімділігі бақылауға алынды.

Нәтижелер. Зерттеу нәтижесінде көмірқышқыл газымен қаныққан гуминді тыңайтқыш қиярдың жылдам өнуіне, жапырақтары мен гүлдерінің көбеюіне оң ықпал етті. Әсіресе көмірқышқыл газымен қаныққан тұнба тыңайтқышы ең тиімді нәтижені көрсетті.

Қорытынды. Гуминді заттар мен CO_2 өсімдіктердің өсуіне синергетикалық әсерін зерттей отырып, бұл зерттеу көміртекті тиімді басқару стратегияларының шұғыл қажеттілігін шеше алатын, тұрақты ауылшаруашылық тәжірибелеріне үлес қосуға бағытталған.

Кілт сөздер: жаһандық жылыну; көмірқышқыл газын пайдалану; гуминді заттар; жылыжайда өсіру; қияр өсімі; ауыл шаруашылығы.

Combined application of humic fertilizers and carbon dioxide for improving cucumber growth

Maira K. Kazankapova, Zhanar M. Kassenova, Bolat T. Yermagambet, Aizere K. Bolat,
Gulzhakhan R. Kadyrbayeva, Saltanat R. Ordabayeva, Ainagul B. Malgazhdarova,
Ultugan M. Kozhamuratova

Abstract

Background and Aim. Global warming, driven by greenhouse gas emissions like carbon dioxide (CO_2) and methane (CH_4) poses a significant environmental challenge. Addressing this challenge requires strategies that simultaneously reduce greenhouse gas emissions and enhance agricultural efficiency. The large-scale use of fossil fuels contributes substantially to atmospheric CO_2 : current annual emissions reach 3,2-3,6 billion tons. This study aimed to investigate the effect of carbon dioxide treated humic fertilizers on the growth and development of "Atlantis F1" cucumbers, exploring an innovative method of CO_2 utilization using humic substances (HS).

Materials and Methods. A fertilizer was created by saturating humic substances, derived from oxidized brown coal with CO_2 gas, in a laboratory setting. Three 0.1% potassium humate solutions were then prepared: pure, CO_2 -saturated solution, and CO_2 -saturated sludge. An experiment was conducted on cucumber cultivation under greenhouse conditions. Plant growth rate, leaf number, flowering, and heat tolerance were monitored.

Results. The carbon dioxide-saturated humic fertilizer positively influenced cucumber germination, leaf growth and flower development. The CO₂ saturated sludge fertilizer exhibited the most pronounced effects.

Conclusion. This study explores the synergistic effects of humic substances and CO₂ on plant growth contributing to sustainable agricultural practices that address the need for effective carbon management strategies.

Keywords: global warming; carbon dioxide utilization; humic substances; greenhouse cultivation; cucumber growth; agriculture.