

4. Все изученные почвы, независимо от горизонта, характеризуются средней обогащенностью дегидрогеназой, при этом величины дегидрогеназной активности наиболее тесно коррелируют с содержанием ВОВ. Остальные фермента коррелируют с содержанием ВОВ в меньшей степени.

Список литературы

1. Горбов С.Н., Безуглова О.С., Скрипников П.Н., Тищенко С.А. Растворимое органическое вещество в почвах Ростовской агломерации // Почвоведение. – 2022. – № 7. – С. 894-908. – DOI 10.31857/S0032180X2207005X.
2. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. №8. с. 918-926.
3. Семенов В.М., Когут Б.М., Зинякова Н.Б. [и др.]. Биологически активное органическое вещество в почвах европейской части России // Почвоведение. – 2018. – № 4. – С. 457-472. – DOI 10.7868/S0032180X1804007X.
4. Хазиев Ф. Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2015. №2 (78).
5. Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Фарходов Ю.Р., Яшин М.А., Лазарев В.И., Ильин Б.С., Филиппова О.И., Воликов А.Б., Иванов А.Л. Оптические характеристики экстрагируемых фракций органического вещества типичных черноземов в многолетних полевых опытах // Почвоведение. 2020. № 6. С. 691–702.

ВЛИЯНИЕ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ КАК ЧАСТИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВЫ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ РАСТЕНИЙ

Гатиятов Салим Маратович, студент I курса института агробιοтехнологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Ermaksg2007@gmail.com

(Научный руководитель – Анисимов Александр Алексеевич, к.б.н., доцент кафедры физиологии растений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Anisimov_a@rgau-msha.ru)

Аннотация Гумусовые вещества – основной компонент органического вещества почвы, определяющий её плодородие и урожай растений. Они образуются в ходе длительных реакций, зависящих от внешних факторов, поэтому их разнообразие очень велико. Гумус обеспечивает благоприятное развитие растений косвенно, влияя на характеристики почв, а также взаимодействуя с ними напрямую, влияя на физиологию.

Ключевые слова: гумусовые вещества, гумусовые кислоты, ауксин, Н⁺/АТФаза

Современные данные по природе и структуре гумусовых веществ получены с применением масс-спектро스코пии, высокоэффективной хроматографии, ЯМР и показывают, что ГВ, гумусовые кислоты и их щелочно-растворимая фракция составляют супрамолекулярный комплекс с различными соединениями невысокого молекулярного размера, который стабилизирован гидрофобными взаимодействиями и водородными связями [1]. В недавних исследованиях принято делить гумусовые вещества на высоко и низкомолекулярную фракцию. По определению Nardi и др., низкомолекулярная фракция (LMS) – это компоненты с молекулярной массой менее 3500 Да, которые могут поглощаться растениями, а высокомолекулярная фракция (HMS) влияет на растительные клетки «снаружи» [2]. Именно в LMS-фракции находят подавляющую часть биоактивных молекул. Получение современных знаний о ГВ объясняет их влияние на растения, игнорируя высокую молекулярную массу.

Большое количество экспериментов по физиологическим действиям ГВ затрагивает корневую систему и её характеристики [1], [2], [3].

В эксперименте Canellas проростки кукурузы выращивали 72 часа на питательных растворах с добавлением гумусовых кислот (50 мг/л) и лимонной кислоты и оценивали количественные параметры корней [1]. Наибольшее увеличение их площади было при обработке ГК в присутствии самой низкой концентрацией кислоты (0,0005 мМ), а при 0,05 мМ наблюдалась наибольшая длина главного корня. Zandonadi и др. подтвердили, что низкие концентрации внешнего ауксина увеличивают рост корней кукурузы также, как обработка ГК с 0,0005 мМ лимонной кислоты.

В эксперименте также исследовали выделение органических кислот растениями [1]. При обработке гумусовыми кислотами повышается выделение винной, лимонной и щавелевой кислоты, а также меняется структура ГК в растворе, снижая молекулярную массу, а в отдельных опытах лимонная кислота показывает наибольшее влияние на изменение структуры ГК. При обработке ГК повышается активность Н⁺/АТФазы плазмалеммы (РМА) на 50%, а при добавлении 0,005 мМ лимонной кислоты на 80%. Также показано, что интенсивность выделения кислоты растением связано с активностью РМА [1].

Таблица

Влияние ГВ и лимонной кислоты на количественные параметры корневой системы [1]

Пробы	Площадь корней (мм*мм)	Длина главного корня (см)	Количество боковых корней	Плотность боковых корней
Контроль	172,9	12,6	34,7	2,8

0	137,2	13,5	41,0	3,1
0,0005	226,7	13,1	26,6	2,0
0,005	150,2	13,6	35,6	2,7
0,05	146,8	15,3	30,0	1,9

На *Arabidopsis thaliana* было исследовано влияние ГВ на образование боковых корней [4]. Ауксины являются главным стимулом этого процесса, поэтому также экспериментальной группой были проростки с обработкой ауксином, причем все исследуемые растения содержали конструкцию DR5::GUS – ауксиновый репортер для визуализации ответов на ауксин. Также исследовалось влияние ингибиторов полярного транспорта и действия ауксинов. Концентрация ИУК была определена в пробе ГВ ($34 \pm 0,31$ нМ в 1 мг С ГВ L⁻¹), обработка экспериментальной группы ауксином производилась в этой же концентрации для сравнения с ГВ. Показана схожая активация экспрессии DR5::GUS гумусовыми веществами и ауксином, которая снижается под действием ингибиторов (см.рис.).

Исследование закладки боковых корней в динамике показало, что через 24ч. после обработки эффект ИУК был немного ниже, чем ГВ, но через еще 24 часа количество зачатков боковых корней (БК) у экспериментальных групп растений почти не отличалось.

В работе по влиянию ауксина и ГВ на образование боковых корней показано, что гумусовые вещества индуцируют закладку и активируют репортер DR5 через 16 часов после обработки, и они индуцируют образование боковых корней быстрее, чем ауксин, спустя 24 часа после обработки.

Основываясь на представленных результатах, авторы считают, что адсорбция ГК растениями активирует АТФазы корней, вследствие чего выделяются органические кислоты и разрушают структуру ГК, освобождая низкомолекулярные вещества с гормональной активностью, которые дополнительно активируют АТФазы и влияют на структуру корня [1]. Так, в структуру ГВ включены соединения с биологической активностью (в частности, ауксин). Есть мнение, что влияние ГВ на закладку БК объясняется действием NO в клетках перицикла, который имеет вклад на ранних стадиях развития, являясь сигнальной молекулой и накапливаясь из-за работы РАМ и полярного транспорта ауксина [2]. Также показано, что обработка ГВ активирует вакуолярные Н⁺/АТФазы и Н⁺/пирофосфатазу – возможно, из-за их участия в кислом росте, индуцируемом ауксином [2].

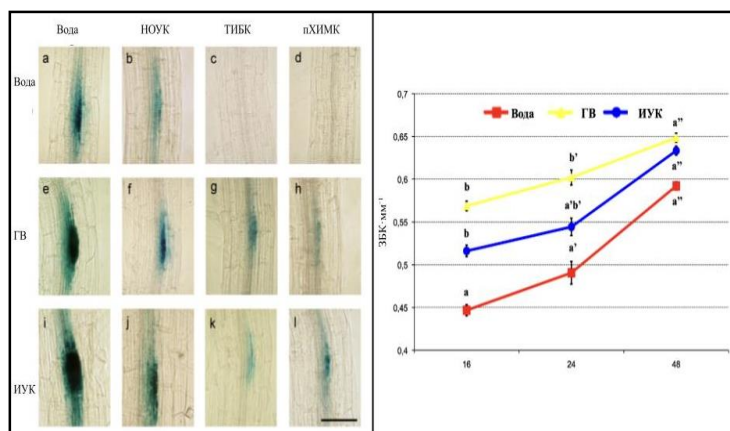


Рисунок 1 - Визуализация активности GUS в корнях трансгенных линий DR5::GUS, обработанных ингибиторами ауксина. Растения выращивали 4 дня на чашках со средой МС, а затем переносили на 24 часа в следующие среды: вода (а), 50 мкМ НОУК (b), 50 мкМ ТИБК (с), 50 мкМ пХИМК (d), 1,0 мг С 1⁻¹ ГВ (e), 50 мкМ НОУК + 1,0 мг С 1⁻¹ ГВ (f), 50 мкМ ТИБК + 1,0 мг С 1⁻¹ ГВ (g), 50 мкМ пХИМК + 1,0 мг С 1⁻¹ ГВ (h), 34 нМ ИУК (i), 50 мкМ НОУК + 34 нМ ИУК (j), 50 мкМ ТИБК + 34 нМ ИУК (k), 50 мкМ пХИМК + 34 нМ ИУК (l).

Масштабная линейка = 50 мкм [4].

Динамика образования зачатков боковых корней в ответ на обработку ИУК (34 нМ) или ГВ (1,0 мг С 1⁻¹). Количество зачатков боковых корней подсчитывали и затем делили на общую длину корня. Буквы на столбцах обозначают статистически незначимые различия согласно тесту НК ($P > 0,05$). Столбцы обозначают стандартную ошибку [4].

В работе Silvia Quaggiotti и др. по исследованию влияния низкомолекулярной фракции ГВ (LMS), в которой также была обнаружена ИУК, на поглощение нитратов, экспериментальные проростки выращивали в присутствии ГВ в течении 48 часов [3]. Контрольные и обработанные проростки переносили на 5ч. в раствор 1,5 мМ нитратов; измерялись приток нитратов в корни и их содержание в тканях.

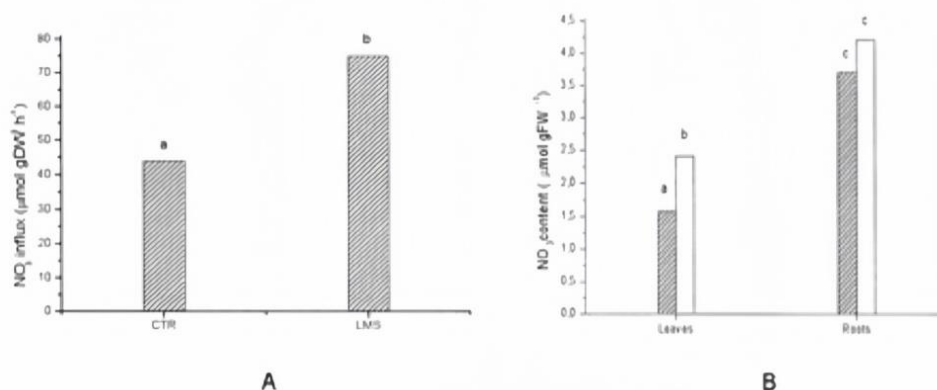


Рисунок 2 -Поглощение нитрата (NO_3^-) корнями (А) и содержание нитрата в листьях и корнях (В). На графике В закрашенные столбцы соответствуют контролю, а светлые - обработанным проросткам. Значения, обозначенные одинаковыми буквами, статистически не различаются при $P=0,05$ согласно тесту Стьюдента–Ньюмена–Кейлса [3].

Приток нитратов в обработанные гумусовыми веществами проростки был на 30% выше, чем у контрольных, а их содержание в тканях также показало более высокие значения. Исследуя транскрипцию генов, в корнях не выявили накопление транскриптов транспортеров нитрата кукурузы (ZmNrt1.1 и ZmNrt2.1), но зарегистрировали увеличение уровня мРНК гена Mha2 (основная изоформа Н⁺/АТФазы корней). Вероятно, усиленный приток нитратов шел за счет усиления электрохимического потенциала на мембране, т.к. нитрат-анион поступает в растение в симпорте с 2Н⁺. Canellas и другие (2002) и Frias и другие (1996) показали, что в корнях кукурузы, обработанных компостом из земляных червей, наблюдается увеличение содержания РАМ изоформы 2, а самой влияющей особенностью регуляции гена Mha2 является его 3х увеличение уровня мРНК в стационарном состоянии в ответ на ауксин. Так, авторы считают, что действие LMS на поглощение нитратов может зависеть от ауксин-зависимой активации Mha2, и работа поддерживает гипотезу о гормон-подобной активности ГВ [3].

В других работах выявлена способность ГВ стимулировать рост растений при опрыскивании для внекорневой подкормки [2]. Внекорневая подкормка ГВ способствовала росту побегов у огурца, удлинению главного корня, но снижению появления боковых корней. Регистрировалось увеличение содержания ИУК, но без влияния на активность корневых РМА – возможно, ГВ влияют на них только при применении на уровне корней.

Также интересно обратить внимание на работы, в которых показано взаимодействие ГВ и пестицидов: оценивалось влияние гумусовых кислот на сорбционные свойства пестицидов (2,4-D, МСРА, метолахлор, карбарил и карбофуран). ГК проявили высокое сродство к феноксиуксусным кислотам, что связано со взаимодействием 2,4-D и МСРА с функциональными группами ГК, что также было объяснением сорбции метолахлора [5]. Дополнительно показано, что гуминовая фракция имеет участки с абсорбционной способностью для пестицидов, а «сила» удержания может увеличиваться с уменьшением их полярности [6].

Выводы

Гумусовые вещества могут напрямую влиять на физиологические процессы растений. Скорее всего, это свойство зависит, в основном, от ауксиновой активности ГВ, которая проявляется за счет наличия в их структуре биоактивных молекул или напрямую ауксина. ИУК образуется в почве за счет деятельности бактерий и грибов, из-за чего и встречается в составе ГВ. Очевидно, что ее содержание, также как и самих гумусовых веществ варьируется в разных почвах. Была показана способность адсорбции пестицидов гумусовыми веществами, что потенциально может снизить их

влияние на растения, также оказывая благоприятное воздействие на физиологические процессы.

Список литературы

1. L.P. Canellas, L.R.L. Teixeira Junior, L.B. Dobbss, C.A. Silva, L.O. Medici, D.B. Zandonadi, A.R. Façanha / Humic acids crossinteractions with root and organic acids // Annals of Applied Biology. - 2008
2. Serenella Nardi , Michela Schiavon, Ornella Francioso / Chemical Structure and Biological Activity of Humic Substances Define Their Role as Plant Growth Promoters // Molecules. - 2021. - №8
3. Quaggiotti, Silvia; Ruperti, Benedetto / Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.) // Journal of Experimental Botany. - 2004. - С. 803–813.
4. Sara Trevisan / A genomic approach for studying the biological activity of humic substances: дис. PhD 2009. - 148 с.
5. Irmina Ćwieląg-Piasecka, Agnieszka Medyńska-Juraszek, Maria Jerzykiewicz, Magdalena Dębicka, Jakub Bekier, Elżbieta Jamroz & Dorota Kawałko / Humic acid and biochar as specific sorbents of pesticides // Journal of Soils and Sediments. – 2018
6. Aleksandra Ukalska-Jaruga, Romualda Bejger, Bożena Smrecza, Jerzy Weber, Lilla Mielnik, Maria Jerzykiewicz, Irmina Ćwieląg-Piasecka 3ORCID, Elżbieta Jamroz 3ORCID, Magdalena Debicka, Andrzej Kocowicz and Jakub Bekier / The Interaction of Pesticides with Humin Fractions and Their Potential Impact on Non-Extractable Residue Formation // Molecules. - 2023

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПРОФИЛЕ ОСАДКОВ АВАЧИНСКОЙ БУХТЫ

Гилёв Андрей Михайлович, аспирант 1 курса Института Мирового океана, ФГАОУ ВО «ДВФУ», кафедра почвоведения, gilev.am@dvfu.ru
(Научный руководитель – **Аксентов Кирилл Игоревич**, канд.геол.-мин.наук
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, aksentov@mail.ru.)

Аннотация: В работе представлены результаты исследования распределения органического углерода в донных отложениях Авачинской бухты, анализируемых по сантиметровым слоям профиля. Было обнаружено неравномерное распределение органического углерода по глубине донных отложений. Максимальное значение зафиксировано на глубине 23–24 см (3,6%), минимальное — на глубине 49–50 см (2,06%).