

Отчёт Университета Латвии — английская версия

Англоязычная версия предоставленного отчёта Университета Латвии для удобства ознакомления.

Полный текст и таблицы на выбранном языке. Автоматический перевод с проверкой терминов и чисел; перевод не заверен. Утверждения авторов, включая спорные, сохранены. Редакционные примечания приведены отдельно.

Редакционное замечание

Оригинал и английскую версию следует рассматривать вместе; ни один документ не подтверждает общий эффект на культуры. Значение ниже предела обнаружения или количественного определения не доказывает отсутствие вещества. Формулировки отчёта о тяжёлых металлах следует читать вместе с измеренными значениями, единицами и пределами в таблицах.

[NanoImport — Редакционное замечание ↗](#)

Заказчик: SIA JIKO Ent

Подрядчик: младший научный сотрудник Лаурис Арбиданс

Факультет точных наук и технологий, факультет наук об окружающей среде, Латвийский университет

Адрес: ул. Елгавас, 1, LV-1004, Рига

Доклад

Химическая оценка биостимулятора для торфа и грибов в рамках ЛИАА 9.2-29-V-2025/64

Рига, 2026 год

Задачи работы

Провести комплексную физико-химическую и агрономическую характеристику биостимулятора на основе торфа и грибов по заказу SIA JIKO Ent в рамках ваучера ЛИАА № 9.2-29-V-2025/64. Характеристика включает:

- пробуждение трех (3) культур (горох, твердая пшеница, овес) с целью оценки эффективности биостимулятора при различных концентрациях;

Оценка воздействия биостимулятора на прорастание при применении обработки травлением семян;

определение содержания гуминовых и фульвиновых кислот в продукте с использованием спектрофотометрических методов и методов ТОС;

Определение содержания белков, углеводов и хитина для характеристики профиля биоактивных компонентов в биостимуляторе;

b) количественное определение микро- и макроэлементов с использованием МСП-ОЭС и метода Кьелдаля;

Физико-химическая характеристика гуминовых кислот с использованием FTIR, UV-Vis и FLR 3D-EEM спектроскопии.

Материалы и методы

Образец

В августе 2025 года биостимулятор был доставлен в канистру вместимостью 5 л, маркированную SK-04-S01-N.

Изоляция хитина

100 мл биостимулятора центрифугировали 30 минут при 4500 об/мин. После центрифугирования собрали твёрдый остаток, ресуспендировали его в 0.1 М NaOH и перемешивали 60 минут. Затем образец снова центрифугировали при 4500 об/мин 30 минут. Процесс повторяли 3 раза, пока присутствие гумусовых веществ в образце больше не обнаруживалось. Твёрдый остаток промывали деионизированной водой до pH < 9. Добавили 1 М NaOH и при перемешивании нагревали до 70 °C в течение 2 часов, затем центрифугировали. Твёрдый остаток промыли деионизированной водой до нейтрального pH, добавили 0.5 М HCl и снова центрифугировали. Образец промыли деионизированной водой до нейтрального pH, добавили 1% NaClO и перемешивали при комнатной температуре 60 минут. Затем промыли 70% этанолом и сушили 3 часа в сушильном шкафу при 40 °C.

Добыча гуминовых кислот

200 мл биостимулятора было отфильтровано через фильтрующую бумагу. После фильтрации раствор центрифугировался в лабораторной центрифуге со скоростью 4500 об/мин. После центрифугирования раствор подкислялся HCl до pH < 1, фильтровался, а осажденные гуматные кислоты промывались 0,1 М раствором CaCl₂. Затем они были промыты деионизированной водой до нейтрального pH и высушены в сушильной печи в течение 2 часов при температуре 105°C.

Количественное определение фульвиновой и гуминовой кислот

Биостимулятор центрифугировался со скоростью 4500 об/мин, и была собрана жидкая фракция. Проба была разбавлена в 50 раз и измерена спектрофотометрически на волне 410 нм. Концентрация была рассчитана на основе калибровочной кривой, полученной из экстрагированных гуминовых кислот. После экстракции гуминовых кислот раствор фульвиновой кислоты, отделенный от биостимулятора, собирался отдельно, разбавлялся в 10 раз и измерялся спектрофотометрически на 410 нм с использованием стандарта фульвиновой кислоты в качестве эталона.

С помощью автоматической 1000 мкл пипетки 500 мкл раствора биостимулятора было количественно перенесено в 100 мл объемную колбку. В отдельную 100-миллилитровую объемную колбку переливается 500 мкл раствора отделенной фульвиновой кислоты, который разбавляется до отметки дейонизированной водой. Разбавленные растворы анализировались с помощью анализатора общего органического углерода (Shimadzu TOC-V CSN), и полученные результаты были выражены в миллиграммах органического углерода (TOY) на литр биостимулятора.

Спектра молекулярного поглощения в ультрафиолетовом и видимом диапазоне

20 мг экстрагированной и очищенной гуминовой кислоты взвешивали на аналитических весах, переносили в количественном выражении в 1-литровую объемную колбу и растворяли в 0,5-миллиметровом растворе NaHCO_3 . Растворы измерялись в 1-см кварцевой кювете с помощью УФ-ВИС спектрофотометра UV-1800 в диапазоне 220-700 нм с шагом 1 нм. Для определения характеристик гуминовой кислоты использовались коэффициенты поглощения на длине волны 254 нм (E2), 365 нм (E3), 465 нм (E4) и 665 нм (E6), которые выражались как E2/E3, E2/E4, E2/E6 и E4/E6.

ФТИР-спектроскопия

Перед анализом KBr высушивали в течение 2 часов при температуре 105°C. Затем взвешивается 200 мг, добавляется 2 мг гуминовой кислоты и смешивается. Смесь была отжата в гранулу и измерена с помощью спектрометра FTIR (Shimadzu IR-Tracer 100). Измерения проводились в диапазоне 4000-400 cm^{-1} с разрешением 8 cm^{-1} и 16 сканированиями.

Матрицы возбуждения/эмиссии флуоресценции 3D (FLR 3D-EEM)

Матрицы FLR 3D-EEM были получены с помощью флуоресцентного спектрофотометра HORIBA Jobin Yvon Aqualog. Растворы готовились в 0,5 М NaHCO_3 при концентрации 20 мг/л. Пробы измерялись в кварцевых кюветах диаметром 1 см без шлифованных сторон. Длины волн возбуждения: 240-600 нм; длина волны излучения: 260-620 нм. Размер шага: 3 нм. После измерений было замаскировано рассеяние Рейли первого порядка. Флуоресцентные спектральные данные были обработаны и визуализированы с помощью RStudio (версия 2024.12.1.563) и библиотек R (версия 4.5.0) readxl, dplyr, akima, ggplot2. Данные интерполировались с использованием линейного двумерного метода (akima::interp) в качестве функции длин волн возбуждения и излучения.

Анализ общего количества углеводов

Для анализа 1 мл образца перенесли в стеклянную пробирку, добавили 1 мл 5% раствора фенола и выдержали 10 минут. Затем добавили 4 мл концентрированной H_2SO_4 , выдержали 20 минут и измерили спектрофотометрически при 490 нм. Образцы измеряли в 3 повторностях, используя глюкозу как стандарт.

Анализ микроэлементов

Примерно 5 мл биостимулятора взвешивается в сосуды из ПТФЭ, высушивается до сухой консистенции и добавляется 10 мл концентрированного HNO_3 . Сосуд был помещен в герметичный контейнер, а мокрое разложение было проведено с использованием микроволновой системы разложения (Milestone Ethos EASY). Проба нагревалась в течение 15 минут до 200°C при максимальной мощности 1 800 Вт, выдерживалась еще в течение 15 минут и после разложения охлаждалась до комнатной температуры. Проба была перенесена в полипропиленовую трубку емкостью 50 мл и разбавлена до 50 мл с использованием деионизированной воды (0,055 мкС/см). Пробы были подготовлены в 2 повторах.

Перед анализом образец дополнительно разбавлялся в 10 раз и анализировался с помощью плазменного оптического эмиссионного спектрометра с индуктивным соединением (серия Thermo Scientific iCAP 7200). Параметры ICP: мощность RF 1150 Вт; расход плазменного газа (аргон 5,0) 12 л/мин; расход газа в небулизаторе 0,5 л/мин; расход вспомогательного газа (азот 5,0) 0,15 л/мин; расход пробы 1 мл/мин. Было определено в общей сложности 29 элементов: Al (396,152 nm, радиальное расположение); As (189.042 nm, axial); B (249.773 nm, radial); Ba (455.403 nm, axial); Be (313.042 nm, radial); Ca (422.673 nm, radial); Cd (228.802 nm, axial); Co (228.616 nm, axial); Cr (267.716 nm, axial); Cu (324.754 nm, axial); Fe (240.488 nm, radial); K (766.490 nm, radial); Li (670.784 nm, radial); Mg (285.213 nm, radial); Mn (257.610 nm, radial); Mo (202.030 nm, axial); Na (589.592 nm, radial); Ni (231.604 nm, axial); P (177.495 nm, axial); Pb (220.353 nm, axial); S (180.731 nm, axial); Sb (206.833 nm, axial); Se (196.090 nm, axial); Si (251.611 nm, radial); Sr (407.771 nm, radial); Ti (334.941 nm, radial); Tl (190.856 nm, axial); V (292.402 nm, axial); Zn (213.856 nm, axial). Калибровочные кривые были подготовлены с использованием стандартизированных эталонных материалов.

Определение общего азота (по Кельдалю)

0,5 г полностью высушенной нефилтрованной пробы биостимулятора взвешивалось на аналитических весах и переливалось в колбочку Кельдала. Добавлялось 10 мл концентрированного H_2SO_4 и образец нагревался в разлагающем устройстве Кельдала (Buchi SpeedDigester K-436, оснащенный кислотным нейтрализующим модулем Buchi Scrubber K-415) в течение 2 часов до полной минерализации матрицы. После разложения образец был дистиллирован с помощью Buchi KjellFlex K-360, а дистиллят был титрован с помощью 0,05 М H_2SO_4 .

Проверенные семена

В конце августа 2025 года в Акнисской волости был собран урожай твердой пшеницы (*Triticum durum*) и овса (*Avena sativa*). Горох (*Pisum sativum*) был приобретен в октябре 2025 года в розничном магазине Depo в Риге.

Пробуждение

Были выбраны четыре испытательных концентрации биостимуляторов: 1:500, 1:350, 1:200 и 1:100 (полученные путем разбавления биостимулятора в 500-, 350-, 200- и 100-кратных пропорциях). Для оценки эффекта травления семена травили с помощью 1% NaOH и маркировали соответствующим разбавлением и “kod” (травили). Семена смешивались в растворе NaOH в течение 2 минут и промывались деионизированной водой. Перед посевом на прорастающую пластину семена выдерживали в течение ночи в соответствующих разбавлениях биостимуляторов. На каждую прорастающую пластинку наносилось 10 мл разбавленного биостимулятора, и на нее помещалось 10 семян. Пластинки были закрыты и инкубированы в термостате при температуре 22°C в течение 7 дней с 12часовым циклом освещения/12часовым циклом затемнения для всех типов семян. В качестве контрольной пробы использовалась деионизированная вода.

Результаты

Для оценки состава биостимулятора определялось содержание гуминовых кислот, фульвовых кислот, общего количества белков, общего количества углеводов, общего азота, общего количества органического углерода в биостимуляторе и общего количества органического углерода в отделенном растворе фульвовой кислоты. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Общие показатели результатов применения биостимулятора

Таблица 1		
Параметр	Результат	Единица
Содержание сухого вещества	12,19 ± 0,17	%
Гумные кислоты	624 ± 12	mg/L
Фульвовые кислоты	712 ± 21	mg/L
Общий объем белка	1,30 ± 0,07	%
Общее количество углеводов	198 ± 6	mg/L
Общий азот	0,21 ± 0,04	%
ТОС – биостимулятор	1150 ± 40	mg/L
ТОС – раствор фульвиновой кислоты	790 ± 30	mg/L

В таблице 1 отражены общие показатели состава биостимулятора. Было отмечено высокое содержание сухого вещества (12,19 ± 0,17%), состоящего главным образом из коллоидных частиц в растворе. Среди гуминовых веществ в продукте преобладают фульвовые кислоты (712 ± 21 мг/л), а измеренное содержание гуминовой кислоты составляет 624 ± 12 мг/л. Следует учитывать тот факт, что продукт содержит значительное количество различных растворимых побочных продуктов; Поэтому содержание гуминовой кислоты, основанное на анализе органического углерода, не является однозначным. Однако анализ раствора, отделенного от гуминовых кислот, показывает тенденцию к потере 360 мг/л C из продукта после удаления углерода, связанного с гуминовой кислотой. Этот показатель можно приблизить до ~720 мг/л гуминовых кислот, если предположить, что среднее содержание

углерода в гуминовых кислотах составляет 50%, однако обоснованность этого вывода следует оценивать критически; Поэтому спектрофотометрический анализ считается более надежным показателем.

В ходе последовательной изоляции и очистки хитина из образца биостимулятора, как описано в рабочем процессе, сначала отделяются гумусные вещества, затем удаляются белки, затем следует процесс деминерализации, затем этап отбеливания материала (удаление других органических пигментов) и, наконец, этап удаления липофильных соединений и сушка - получен беловатый (серовато-белый) хитин с общим содержанием ~235 мг/л. Очищенный хитин показан на рисунке 1.



Исходные экспериментальные графики сохранены. Перевод подписей приведён в сопровождающем тексте.

Рисунок 1. Хитин, выделенный из биостимулятора и очищенный.

Микро- и макроэлементный анализ биостимулятора был проведен с использованием метода МСП-ОЭС. В общей сложности было определено 29 элементов (Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sr, Ti, Tl, V, Zn). Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2. Состав микро- и макроэлементов биостимулятора (мкг/л)

Таблица 2

Элемент	Концентрация (мкг/л)
Al	143 ± 5
As	<1,77
B	1,057 ± 0,114
Ba	0,28 ± 0,09
Be	<0,014
Ca	348 ± 12
Cd	<0,15
Co	<0,25
Cr	0,462 ± 0,007
Cu	1,82 ± 0,16
Fe	36,3 ± 0,4
K	34955 ± 1880
Li	<0,65
Mg	45,83 ± 0,02
Mn	0,57 ± 0,05
Mo	<0,80
Na	150 ± 3
Ni	0,381 ± 0,008
P	17370 ± 740
Pb	<1,12
S	104 ± 5
Sb	<2,44
Se	<2,00
Si	23 ± 4
Sr	1,053 ± 0,013
Ti	0,57 ± 0,19
Tl	<2,89
V	<0,12
Zn	2,19 ± 0,13

По данным элементного анализа (таблица 2), в прототипе биостимулятора явно преобладают калий и фосфор (K 34955 ± 1880; P 17370 ± 740), концентрации которых на несколько порядков выше, чем у других элементов. Следовательно, состав ориентирован на физиологический эффект К/Р: энергетический обмен, развитие корней, осморегуляцию и устойчивость к стрессу. Следующий уровень концентраций включает Ca 348 ± 12; Na 150 ± 3; Al 143 ± 5; S 104 ± 5, тогда как Mg относительно мало (Mg 45.83 ± 0.02). Среди микроэлементов наиболее выражен Fe (Fe 36.3 ± 0.4); также присутствуют Si 23 ± 4; Zn 2.19 ± 0.13; Cu 1.82 ± 0.16; B 1.057 ± 0.114; Sr 1.053 ± 0.013; Mn 0.57 ± 0.05. Остальные элементы

имеют низкие концентрации (Cr 0.462 ± 0.007 ; Ni 0.381 ± 0.008 ; Ba 0.28 ± 0.09 ; Ti 0.57 ± 0.19). Положительно, что ряд потенциально токсичных элементов находится ниже предела обнаружения (As < 1.77; Cd < 0.15; Pb < 1.12; V < 0.12; Co < 0.25; Mo < 0.80; Se < 2.00; Sb < 2.44; Tl < 2.89; Be < 0.014), что указывает на отсутствие тяжёлых металлов в продукте.

Для определения гуминовых кислот в биостимуляторе использовались несколько спектроскопических анализов: ФТИР, УФ-ВиС молекулярная абсорбционная спектроскопия и флуоресцентная 3D-ЕЕМ спектроскопия. Результаты показаны на рисунках 2-4.



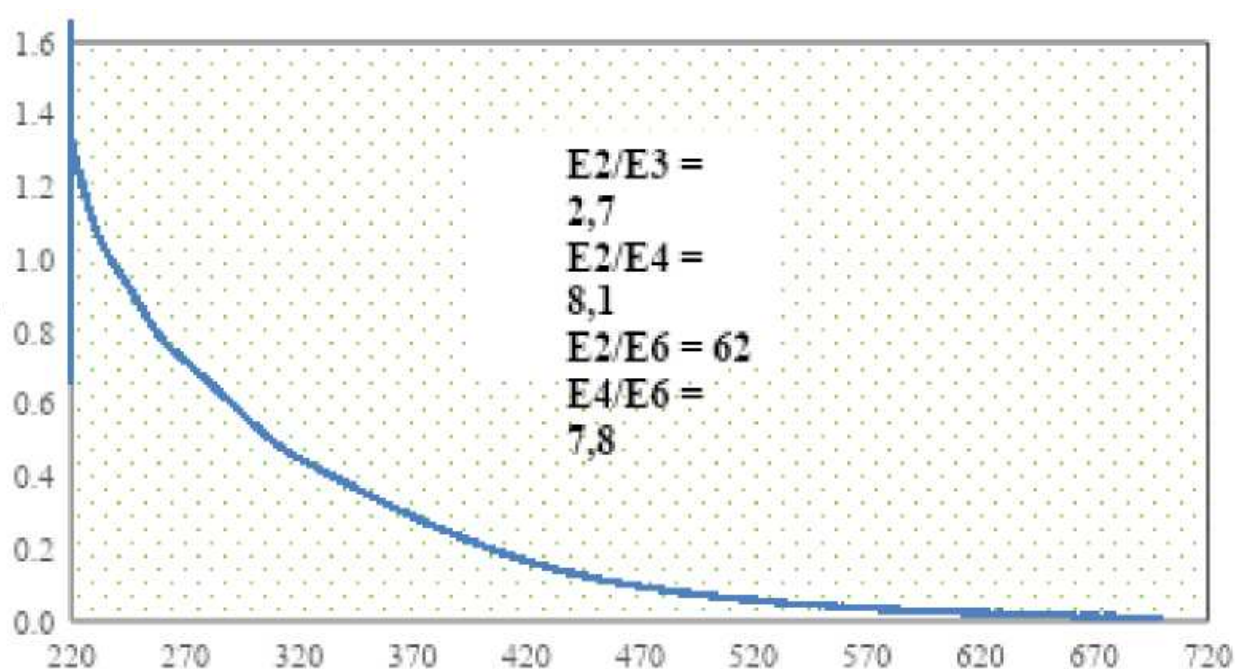
Исходные экспериментальные графики сохранены. Перевод подписей приведён в сопровождающем тексте.

Относительное пропускание. Волновое число (cm^{-1}). O-H; $\equiv\text{C-H}$; $=\text{C-H}$; C-H (алифатические); CO_2 ; C=O; C=C; N-H деформационные; C-H деформационные; C-O/C-N; C-Hal / C-H (ароматические).

Рисунок 2. FTIR-спектр гуминовых кислот, выделенных из биостимулятора.

Спектр FTIR природных торфяных гуминовых кислот, показанный на рисунке 2, является типичным для гетерогенной матрицы гуминовых кислот со многими полярными функциональными группами и ароматично-алифатической структурой. Широкая, выраженная полоса около 3600—3200 cm^{-1} соответствует растяжению O-H (фенолы, спирты, карбоксильные кислоты) и обычно также указывает на сильную водородную связь. Более слабые особенности около ~3100—3000 cm^{-1} предполагают ароматические или олефиновые структуры, в то время как полосы около ~2920 cm^{-1} и ~2850 cm^{-1} характеризуют алифатическое C-H (CH_2/CH_3) растяжение, т.е. боковые цепи и фрагменты лигнина. Ключевая особенность гуминовых кислот — это, как правило, сильное поглощение около ~1720—1700 cm^{-1} , что видно здесь как существенный сигнал и соответствует растяжению C=O (в основном карбоксильных групп, но также возможных эфиров/кетонов) — важный показатель кислотности гуминовых кислот и способности к комплексованию с

металлами. В области $\sim 1620\text{--}1580\text{ см}^{-1}$ доминируют ароматические $\text{C}=\text{C}$ и/или вклады конъюгированных карбонильных групп, указывающие на ароматический скелет (лигнин/продукты гуминации). Около $\sim 1550\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ могут появляться N-H -изгибающиеся особенности амид, в то время как полосы $\sim 1450\text{--}1380\text{ см}^{-1}$ обычно ассоциируются с C-H -изгибающимися и возможной компонентой симметричных COO- -вибраций. В зоне «отпечатка пальца» $\sim 1250\text{--}1000\text{ см}^{-1}$ наблюдаются C-O и C-O-C (фенолы, спирты, эфиры, остатки полисахаридов) и частично C-N вибрации, отражающие разнообразие гумусных веществ. На $\sim 900\text{--}700\text{ см}^{-1}$ наблюдается ароматическое внеплоскостное изгибание C-H , в то время как полоса около $\sim 2350\text{ см}^{-1}$ является типичным сигналом CO_2 (адсорбированным из атмосферы) и обычно не является индикатором самой структуры образца. В целом спектр подтверждает, что карбоксильные и фенольные группы на ароматической основе с добавлением алифатических цепей доминируют в гуминовых кислотах, присутствующих в биостимуляторе, что соответствует их высокой реактивности и потенциалу комплексования/биостимуляторности.



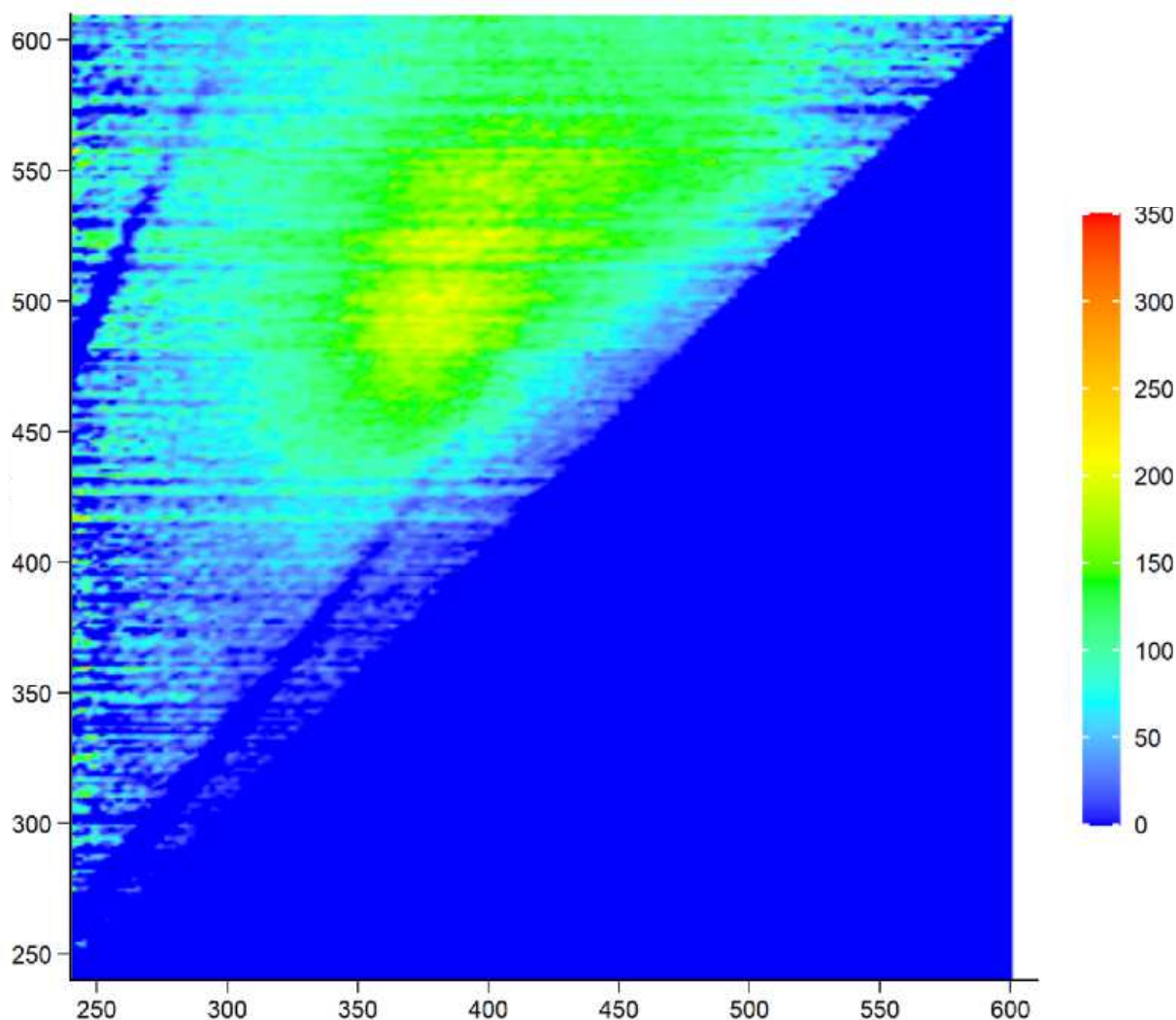
Исходные экспериментальные графики сохранены. Перевод подписей приведён в сопровождающем тексте.

Поглощение, а.е. $E2/E3 = 2,7$; $E2/E4 = 8,1$; $E2/E6 = 62$; $E4/E6 = 7,8$.

Рисунок 3. UV-Vis-спектр молекулярного поглощения гуминовых кислот, выделенных из биостимулятора.

Спектр УФ-Ви на рис. 3 указывает на типичную особенность гуминовых кислот: плавное снижение поглощения без узких четких пиковых значений, что указывает на широкую смесь хромофоров (ароматических, фенольных, карбонильных групп и т.д.) и структур. Рассчитанное значение $E4/E6 = 7,8$ выше типичного значения для гуминовых кислот (<5), что указывает на более высокую степень гуминизации, более высокую среднюю молекулярную массу и более конденсированные, более ароматические структуры. $E2/E3 = 2,7$ (ниже часто упоминаемого диапазона 3-5) указывает на относительно более высокую долю более конъюгированных/гумизированных компонентов, поглощающих на 365 нм, и сдвиг в сторону

более сильно гумизированного органического вещества. $E2/E4 = 8,1$ указывает на явное присутствие функциональных групп, полученных из лигнина, и признаков ароматности, в то время как $E2/E6 = 62$ отражает сдвиг баланса в пользу менее гумизированной и менее конденсированной фракции с более мелкими агрегатами. В целом можно сделать вывод, что торфяные гуминовые кислоты, извлекаемые из биостимулятора, представляют собой гетерогенную смесь, содержащую как ароматические/лигнинные фрагменты, так и значительную долю более легкой, менее гуминированной фракции, которая обычно ассоциируется с лучшей растворимостью и наличием функциональных групп.



Исходные экспериментальные графики сохранены. Перевод подписей приведён в сопровождающем тексте.

Выбросы, нм Возбуждение, нм Интенсивность, аи

Рисунок 4. FLR 3D-ЕЕМ-спектр гуминовых кислот, выделенных из биостимулятора.

В 3D-ЕЕМ матрице (рис. 4) видна широкая область флуоресценции гуминовой кислоты с максимумом приблизительно на $E_x \sim 390-430$ нм и $E_m \sim 520-560$ нм (желтое поле), указывающая на сильно конъюгированные, ароматические и относительно более конденсированные структуры (более гуминированная фракция, характерная для торфа).

Кроме того, в районе $E_x \sim 320-360$ нм видно " плечо " ; $E_m \sim 440-500$ нм, что характерно для гуминовых кислот, и более слабый компонент вокруг $E_x \sim 250-280$ нм; $E_m \sim 420-460$ нм, что более характерно для компонентов лигнина. В целом спектр показывает, что образец представляет собой неоднородную смесь хромофоров с различной степенью гумифицированности. В то же время белково-подобная область флуоресценции (сигналы типа тирозина/триптофана около $E_x \sim 275$ нм и $E_m \sim 300-350$ нм) практически не выражается, что указывает на низкую долю легко разлагаемых примесей и общее преобладание более стабильных гумусных веществ.

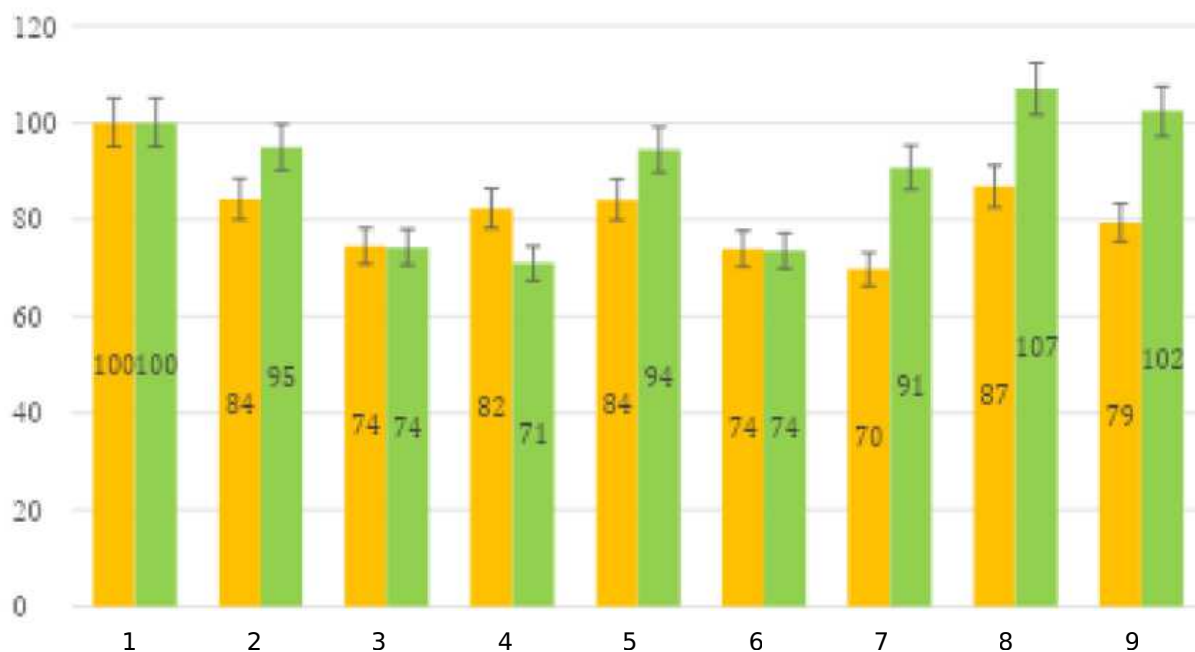
Для определения эффективности биостимулятора с точки зрения его воздействия на прорастание культур были проведены пробы прорастания. Пример прорастающей пластины для пшеницы показан на рис. 5.



Исходные экспериментальные графики сохранены. Перевод подписей приведён в сопровождающем тексте.

Рисунок 5. Чашка для проращивания с проросшей пшеницей в контрольном образце.

На рис. 5 показана прорастающая пластина, в которой через 7 дней после прорастания пшеница прорастает с использованием дейонизированной воды. Влияние биостимулятора на прорастание овса показано на рис. 6 (длина) и рис. 7 (масса).

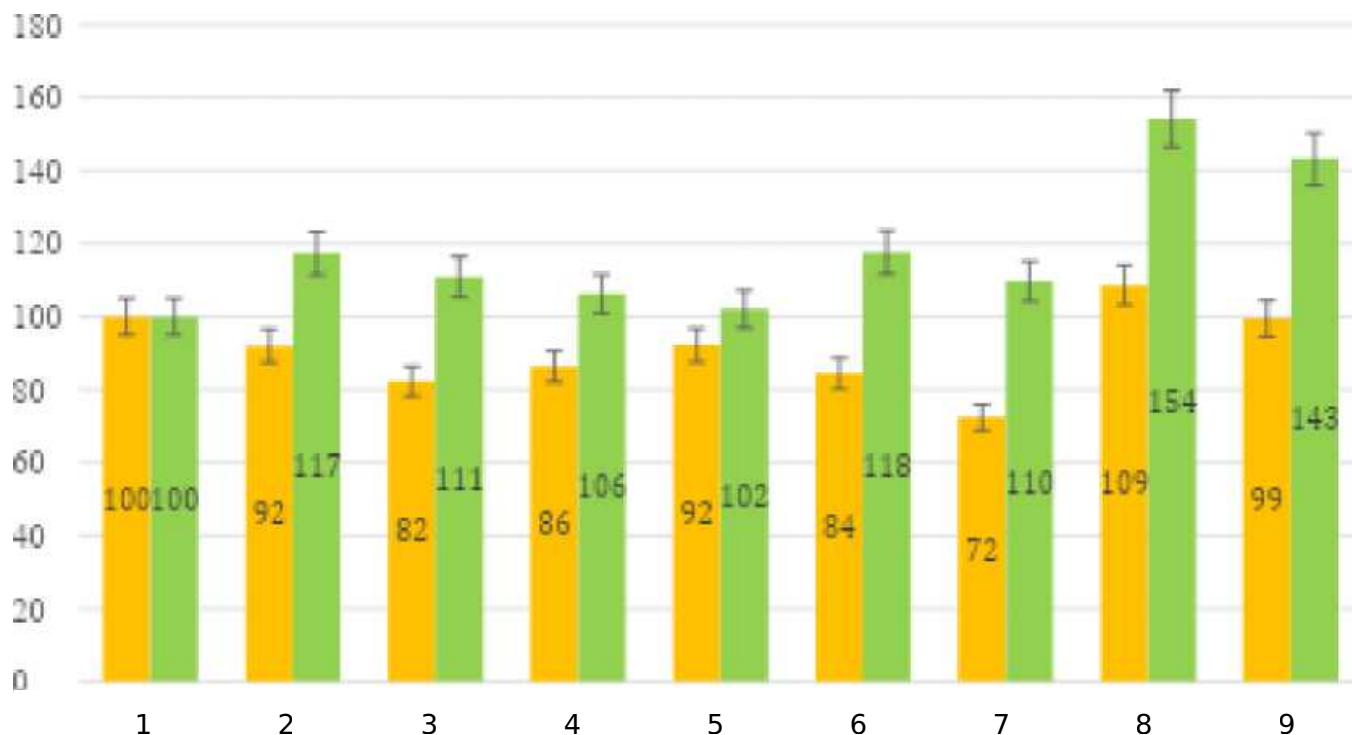


Исходные экспериментальные графики сохранены. Перевод подписей приведён в сопровождающем тексте.

Жёлтым обозначены корни, зелёным — побеги. Группы 1-9 соответствуют перечисленным ниже вариантам по порядку.

Длина частей растения относительно контроля, %. Длина корней. Длина побегов. Контроль; 1:500; 1:500 с предобработкой семян; 1:350; 1:350 с предобработкой семян; 1:200; 1:200 с предобработкой семян; 1:100; 1:100 с предобработкой семян.

Рисунок 6. Результаты тестов прорастания овса: показатели длины корней (жёлтые столбцы) и побегов/проростков (зелёные столбцы) через 7 суток, нормированные к контролю.



Исходные экспериментальные графики сохранены. Перевод подписей приведён в сопровождающем тексте.

Жёлтым обозначены корни, зелёным — побеги. Группы 1-9 соответствуют перечисленным ниже вариантам по порядку.

Масса частей растения относительно контроля, %. Масса корней. Масса побегов. Контроль; 1:500; 1:500 с предобработкой семян; 1:350; 1:350 с предобработкой семян; 1:200; 1:200 с предобработкой семян; 1:100; 1:100 с предобработкой семян.

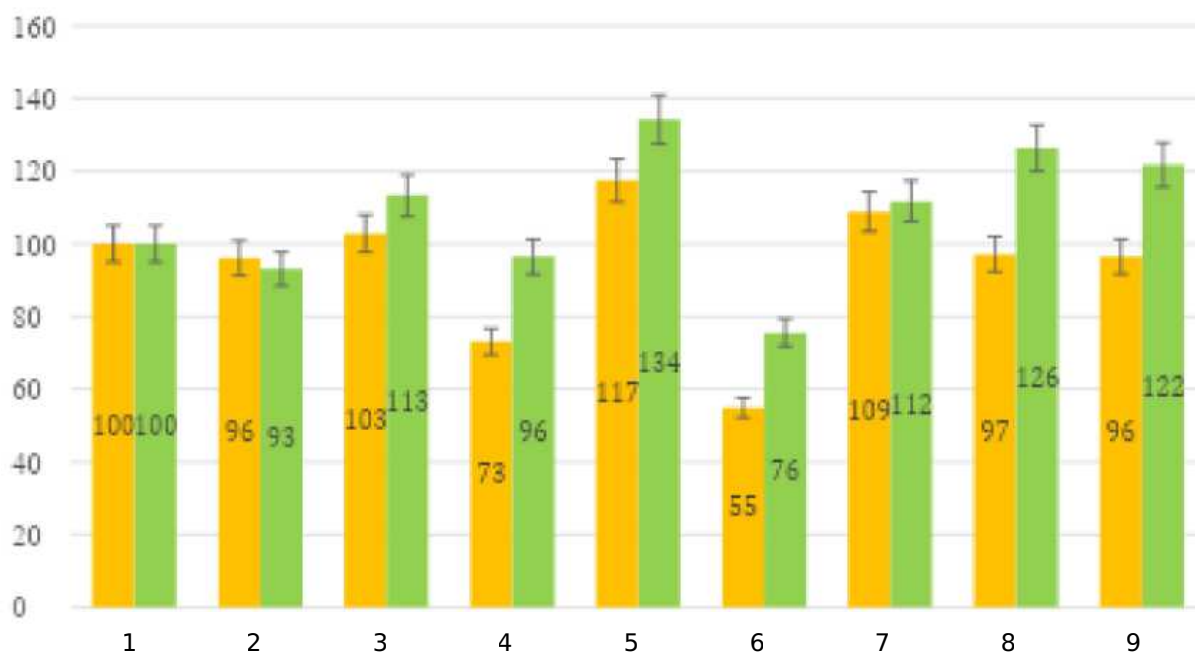
Рисунок 7. Результаты тестов прорастания овса: показатели массы корней (жёлтые столбцы) и побегов/проростков (зелёные столбцы) через 7 суток, нормированные к контролю.

На рис. 6 показан результат испытаний на прорастание овса с учетом длины части растения, нормализованный по контрольному образцу, в котором овёс прорастал с использованием дейонизированной воды. Результаты показывают, что при использовании биостимулятора в разбавлениях 1:500, 1:350 и 1:200 как травленные, так и не травленные семена проявляли более низкую прорастающую способность как по длине корня, так и по длине побега. При разбавлении 1:100 нетравленные и травленные семена показали более высокую производительность по длине побега (+7% и +2%, соответственно), но длина корня все еще была уменьшена.

На рис. 7 показан результат испытания на прорастание овса по массе части растения, нормализованный по контрольному, когда овёс прорастал с использованием дейонизированной воды. Было отмечено, что травление семян положительно влияет на фактическую массу побегов по сравнению с контрольной группой при всех разбавлениях биостимуляторов, особенно при 1:100 как для нетравленных, так и для травленных семян (+54% и +43%, соответственно). Однако масса корней уменьшается почти во всех

испытаниях, за исключением разбавления 1:100 с нетравленным семенем, которое показало увеличение массы на +9%. Следует отметить, что по отношению к массе побеги травление семян имеет отрицательный эффект по сравнению с нетравленным семенем (снижение на 4-11%).

На основе результатов испытаний на прорастание овса был сделан вывод о том, что для дальнейших исследований будет использоваться только масса корней и побегов, поскольку она более точно отражает показатели прорастания. Результаты испытаний твердой пшеницы показаны на рис. 8.



Исходные экспериментальные графики сохранены. Перевод подписей приведён в сопровождающем тексте.

Жёлтым обозначены корни, зелёным — побеги. Группы 1-9 соответствуют перечисленным ниже вариантам по порядку.

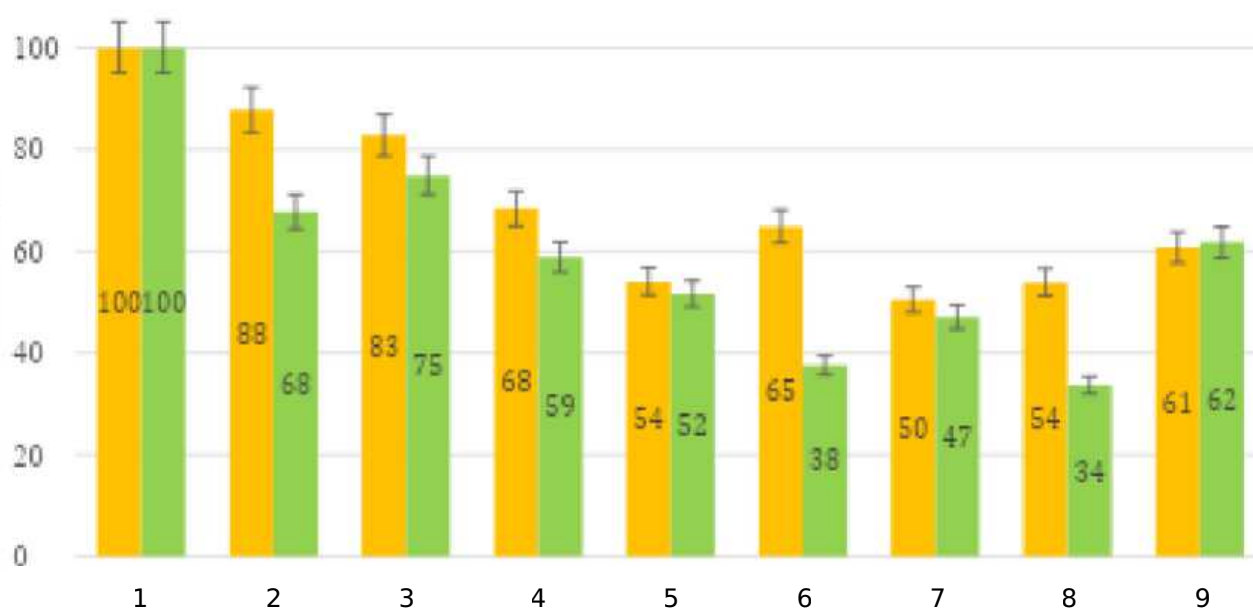
Масса частей растения относительно контроля, %. Масса корней. Масса побегов. Контроль; 1:500; 1:500 с предобработкой семян; 1:350; 1:350 с предобработкой семян; 1:200; 1:200 с предобработкой семян; 1:100; 1:100 с предобработкой семян.

Рисунок 8. Результаты тестов прорастания твёрдой пшеницы: показатели массы корней (жёлтые столбцы) и побегов/проростков (зелёные столбцы) через 7 суток, нормированные к контролю.

В ходе испытания на прорастание твердой пшеницы (рис. 8) было установлено, что для нетравленных семян биостимулятор наилучшим образом увеличивает массу побеги при разбавлении 1:100 (+26%), в то время как при разбавлении 1:500 происходит незначительное снижение (-7%), а при разбавлении 1:350 и особенно 1:200 происходит заметное снижение массы (-4% и -24%, соответственно). В то же время масса корней для

нетравленных семян в основном уменьшается, причем очень значительное снижение наблюдается при соотношении 1:350 (-27%) и 1:200 (-45%), тогда как соотношения 1:500 и 1:100 близки к контрольному (-4% и -3%). В целом, травление улучшает результаты, поскольку масса побега выше, чем у контрольной группы при всех разбавлениях (1:500 травление +13%; 1:350 трафарет +34%; 1:200 трафарет +12%; 1:100 трафарет +22%). Масса корней также становится выше, чем у контрольной группы при 1:500, 1:350 и 1:200 (+3%, +17% и +9%, соответственно), хотя при 1:100 травление немного снижает массу корней. Сравнивая травление с нетравленным семенем, травление обеспечивает положительный эффект при разбавлениях 1:500-1:200, в то время как небольшое снижение наблюдается при 1:100, что может указывать на то, что при более высокой концентрации травление больше не обеспечивает дополнительной выгоды.

Наконец, были проведены испытания на прорастание гороха, и результаты испытаний на прорастание массы части растения гороха показаны на рис. 9.



Исходные экспериментальные графики сохранены. Перевод подписей приведён в сопровождающем тексте.

Жёлтым обозначены корни, зелёным — побеги. Группы 1-9 соответствуют перечисленным ниже вариантам по порядку.

Масса частей растения относительно контроля, %. Масса корней. Масса побегов. Контроль; 1:500; 1:500 с предобработкой семян; 1:350; 1:350 с предобработкой семян; 1:200; 1:200 с предобработкой семян; 1:100; 1:100 с предобработкой семян.

Рисунок 9. Результаты тестов прорастания гороха: показатели массы корней (жёлтые столбцы) и побегов/проростков (зелёные столбцы) через 7 суток, нормированные к контролю.

В испытании на прорастание гороха общая картина недвусмысленна: биостимулятор снижает массу как корней, так и побеги по сравнению с контрольной группой при всех разбавлениях, и наиболее выраженное снижение наблюдается в массе побеги по мере того, как раствор становится более концентрированным. Для нетравленных семян при наиболее разбавленном растворе (1:500) падение более умеренно, но при переходе к более концентрированным растворам эффект усиливается – при 1:200 и особенно 1:100 масса побеги уменьшается наиболее сильно (примерно до одной трети контрольной). В целом, травление не обеспечивает стабильного улучшения. В некоторых разбавлениях это даже ухудшает корневую массу (например, 1:350), однако в случае 1:100 травление существенно влияет на массу побеги, потому что масса побеги увеличивается с 34% до 62% (с $\sim 1/3$ до $\sim 2/3$ контроля). Таким образом, в случае гороха в данном испытании биостимулятор оказывает преимущественно ингибирующее действие.

После испытаний на прорастание стало ясно, что прототип биостимулятора оказывает неблагоприятное воздействие на горох, а возможно и на другие бобовые культуры, в то время как для зерновых наблюдался значительный положительный эффект – для твердой пшеницы при разбавлении 1:350 с травленными семенами, с увеличением массы корней на +17% и массы побеги увеличение на +34%; и для овса в разбавлении 1:100 с нетравленным семенем, с увеличением массы корней на +9% и увеличением массы побеги на +54%.