

ВЛИЯНИЕ ЭЛИСИТОРА ИЗ ТРУТОВИКА ЛАКИРОВАННОГО (GANODERMA LUCIDUM (CURT.)) НА РИЗОГЕНЕЗ ПЕРЦА ОВОЩНОГО (CAPSICUM ANNUUM L.)

Е. А. Крюков¹⁾, В. С. Заяц¹⁾

¹⁾ ЗАО «Струнные технологии», ул. Железнодорожная, 33, г. Минск, Беларусь
e.kryukov@unitsky.com

Изучено влияние биогенного элиситора, полученного из Трутовика лакированного на рост и развитие корневой системы перца овощного. Анализировались четыре параметра корневой системы: частота ветвления на миллиметр, общая длина корней, медианный диаметр и площадь корневой системы. Полученные результаты могут применяться в агротехнологиях при разработке новых препаратов, нацеленных на стимулирование роста и развития корневой системы растений.

Ключевые слова: перец овощной (*Capsicum annuum* L.); стимуляторы роста; ризогенез; трутовик лакированный (*Ganoderma lucidum* (Curt.)); адаптация растений; элиситор.

INFLUENCE OF ELICITOR FROM REISHI MUSHROOM (GANODERMA LUCIDUM (CURT.)) ON RHIZOGENESIS OF PEPPER (CAPSICUM ANNUUM L.)

Y. A. Krukau¹⁾, V. S. Zayats¹⁾

¹⁾ Unitsky String Technologies, Zheleznorozhnaya str, 33, Minsk. Belarus
e.kryukov@unitsky.com

The effect of a biogenic elicitor obtained from the reishi mushroom on the growth and development of the pepper root system was studied. Four root system parameters were analysed: branching frequency per millimetre, total root length, median diameter and root system area. The results obtained can be applied in agrotechnology for the development of new preparations aimed at stimulating plant root growth and development.

Keywords: pepper (*Capsicum annuum* L.); growth stimulants; rhizogenesis; reishi mushroom (*Ganoderma lucidum* (Curt.)); plant adaptation; elicitor.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-131-135>

В настоящее время одним из перспективных направлений в сельском хозяйстве является рациональное использование биологически активных веществ или стимуляторов роста растений, получаемых из природного сырья. В настоящей работе исследования проводились на перце овощном (*Capsicum annuum* L.) как одной из ценных сельскохозяйственных культур, используемых человеком. *Capsicum annuum* L. относится к семейству Пасленовых (*Solanaceae*) и представляет собой однолетнее растение, достигающее высоты от 0,5 до 2 метров. Эта культура является одной из наиболее распространённых овощных культур в мире благодаря своим многочисленным преимуществам, включая высокую урожайность, хорошо изученные агротехнологии возделывания и отличные вкусовые качества [1]. Исследовалось действие разработанного стимулятора роста на корневую систему растений. Основные эффекты подкормок должны проявляться на первых стадиях онтогенеза растений, начиная с прорастания семян. Эффекты на ранних стадиях роста растений оказываются на росте корневой системы, что дает сигнал о ценности и качестве будущего урожая. Поэтому исследование корневой системы является актуальным направлением. Корни выполняют несколь-

ко ключевых функций: обеспечивают поглощение воды и минеральных веществ из почвы, способствуют устойчивости растений в почвенном субстрате, а также участвуют в синтезе определённых фитогормонов. После прорастания корень начинает синтезировать цитокинины и гиббереллины, которые транспортируются в побег, способствуя развитию апикальных меристем стебля и росту листьев. Развитая корневая система прямо влияет на образование и развитие побегов, что способствует накоплению значительной вегетативной массы и положительно сказывается на урожайности культуры.

Различные стрессовые факторы включая условия экстремальных температур, недостаток влаги, воздействию вредных веществ и заболеваний, засоленность почв являются одними из наиболее ограничивающих факторов для производства сельскохозяйственных культур. Это ведёт к снижению роста и продуктивности растений, влияя на физиологические процессы, включая нарушение ионного равновесия, водного статуса, минерального питания, поведения устьиц и эффективности фотосинтеза. Для минимизации неблагоприятных стрессовых воздействий применяются различные подкормки и стимуляторы роста. В данном исследовании предлагается использование биогенного элиситора, полученного из трутовика лакированного – гриба, содержащего множество видов биологически активных компонентов и давно используемого в лекарственных целях. Применение препаратов на основе элиситоров имеет свои преимущества: они не вызывают резистентности патогенов растений, экологически безвредны, не аккумулируются в растениях, экономически выгодны за счёт активности в низких дозах и соответственно низкого расхода действующего вещества. К биогенным элиситорам относятся вещества, полученные из грибов, микроорганизмов, растений, которые вызывают элиситор-индуцируемые реакции у растений. Грибные метаболиты узнаются в растениях рецепторными сайтами трансмембранных молекул (PRRs) после чего, через серию фосфорилирований белков протеинкиназами, вызывают активизацию фактора регуляции транскрипции и индукцию трансляции генов иммунного ответа (посредством запуска каскада защитных механизмов), что позволяет более полно реализовывать защитный генетический потенциал растения.

Молекулярный механизм действия элиситоров запускает сходные процессы в клетках растения. Трансмембранные рецепторы PRRs состоят из лейцин-богатого домена, участвующего в связывании патоген-ассоциированных молекулярных паттернов [2]. У растений известно два типа PRRs: рецептор подобные белки (RLPs) и рецептор подобные киназы. Стоит отметить, что цитоплазматический домен имеют только RLPs. Дальнейшая трансдукция сигнала происходит главным образом киназными каскадами. Далее происходит изменение ионных потоков, активация транскрипционных факторов семейства WRKY, активация PR-генов. В результате чего происходит повышение устойчивости к стрессорам, индукция роста и развития растения. При стимуляции растений грибными и бактериальными элиситорами, растения обычно изменяют такие факторы как отложение каллозы, синтез ферментов, укрепление клеточной стенки растения, которое прямо может быть связано с фенилпропаноидными соединениями, и накопление белков, связанных с патогенезом, для защиты от вредителей и болезней, т. е. в растительном организме возникает индуцированная системная устойчивость к факторам ISR-типа. [3].

Отдельно стоит отметить полисахариды, содержащиеся в трутовике лакированном. Согласно последним исследованиям [4] данные соединения способствуют улучшению всхожести семян растений и увеличивают экспрессию генов, связанных с устойчивостью к заболеваниям.

В статье рассматривается влияние элиситора из гриба *Ganoderma lucidum* на ризогенез перца овощного, выращенного на жидкой питательной среде.

Объектом исследования выступали 45 дневные корни растений перца овощного (*Capsicum annuum* L.) сорта Фитилёк. Семян проращивались отдельно в чашках Петри и развивались до

размера 2-3 см, чтобы исключить влияние элиситоров. После чего проросшие семена отбирали и переносили в отдельные ёмкости с жидкой питательной средой по 1 растению в каждом. Жидкая питательная среда была представлена раствором Эллиса со стандартным микро- и макроминеральным составом.

В эксперименте использовали 2 различные концентрации элиситора: 5×10^{-2} мл/л и 1×10^{-3} мл/л, которые вносили в питательный раствор раз в 10 дней, исключая контрольный вариант.

Для оценки влияния действующего вещества на биометрические показатели корневой системы перца овощного регистрировались следующие показатели:

- частота ветвления на миллиметр
- общая длина корней
- медианный диаметр
- площадь корневой системы

Ёмкости для культивирования переносились в камеру выращивания с 16-часовым фото-периодом и температурой +25 °С. Измерения параметров проводились на 45 день с помощью сканирования корневой системы и последующего анализа полученных изображений с использованием программного обеспечения RhizoVision [5].

Были обнаружены значительные различия между контрольными вариантами и с применением элиситора. Расчётные значения биометрических параметров корневой системы демонстрируют значительные улучшения по сравнению с контрольной группой (таблица).

Таблица

**Исследуемые показатели корневой системы перца овощного,
выращенного под воздействием элиситора**

Растение № / Параметр	Общая Длина, (мм)	Частота ветвления	Медианный диаметр, (мм)	Общая площадь, (мм ²)
Контроль				
1	8089,83	1,09	0,54	16375,92
2	7737,23	1,07	0,54	15470,92
3	8642,43	1,08	0,53	17125,53
среднее	8156,50	1,08	0,54	16324,12
5×10^{-2} мл/л				
1	10562,14	1,30	0,56	24353,20
2	10123,52	1,27	0,55	23244,67
3	11200,76	1,32	0,57	25715,26
среднее	10628,81	1,30	0,56	24437,71
1×10^{-3} мл/л				
1	9044,51	0,96	0,54	19307,30
2	8752,36	0,94	0,56	18781,52
3	9152,51	0,98	0,55	19624,56
среднее	8983,13	0,96	0,55	19237,79

Исходя из данных таблицы, показатель частоты ветвления, который отражает плотность боковых ответвлений на единицу длины осевого корня продемонстрировал улучшение. Величина данного показателя является индикатором плотности корневой системы в субстрате, в котором развивается растение. Наибольший стимулирующий эффект наблюдался при использовании более высокой концентрации элиситора, составив 1,30 единицы, в то время как

контрольная группа показала значение 1,08. Вариант с меньшей концентрацией элиситора близок к контрольному и составил 0,96 единиц.

Отдельно стоит отметить показатель медианного диаметра корневой системы, который отражает распределение диаметров корней одного растения и показывает, что половина исследуемых корней имеет диаметр ниже данного значения, а другая половина – выше. Близкие значения этого параметра для всех исследуемых вариантов указывают на то, что большая часть корневой системы уже сформирована. Это позволяет предположить, что основное стимулирующее действие на развитие корневой системы с использованием элиситоров происходит преимущественно на ранних этапах роста растения.

Анализ площади корневой системы выявил наивысшие результаты для концентрации элиситора 5×10^{-2} мл/л, составив 24437,71 мм², что в 1,5 раза превышает контрольный показатель. Вариант с использованием элиситора в концентрации 1×10^{-3} мл/л также показал высокий результат, достигнув 19237,79 мм², что в 1,2 раза больше контрольного значения.

На рисунке представлены фото корневой системы, обработанное в приложении RhizoVision.



Изображение корневых систем исследуемых растений перца овощного в итоговой обработке перед анализом в программном решении RhizoVision:
а – контроль; б – 5×10^{-2} мл/л; в – 1×10^{-3} мл/л

Использование элиситора способствует увеличению общей длины корневой системы, что непосредственно влияет на площадь, занимаемую растением в почве, улучшает возможности для накопления питательных веществ и стабильного развития всего растения. Вариант с применением элиситора в концентрации 5×10^{-2} мл/л показал увеличение длины корней в 1,3 раза по сравнению с контролем, тогда как вариант с концентрацией 1×10^{-3} мл/л продемонстрировал прирост в 1,1 раз.

На протяжении всего онтогенеза растения подвергаются влиянию различных биотических и абиотических факторов, негативно влияющих на их рост и развитие. Применение разработанного элиситора из гриба *Ganoderma lucidum* может способствовать нивелированию воздействия стресс-факторов и ускорению адаптации растений путем стимуляции ризогенеза. В результате данного эксперимента было показано, что элиситор-индуцированные защитные реакции, включающие в себя восприятие элиситора рецептором на поверхности клетки с последующей его трансдукцией с участием некоторых основных клеточных и молекулярных событий, имеют стимулирующий эффект на показатели общей длины, площади, частоты ветвления и медианного диаметра корневой системы.

Наибольшая стимуляция ризогенеза была зафиксирована для варианта с применением элиситора в концентрации 5×10^{-2} мл/л. При оценке параметра медианного диаметра были сделаны выводы, что наибольшая стимуляция ризогенеза происходит на ранних стадиях развития растений перца овощного.

Экстраполяция полученных данных позволяет предположить, что такая стимуляция приведёт к устойчивому развитию растений, улучшенной эксплорации субстрата и повышенной усвояемости питательных элементов корневой системой. Данные факторы могут способствовать более раннему началу цветения, ускоренному созреванию плодов и увеличению общей урожайности. Применение элиситоров *Ganoderma lucidum* не только улучшает показатели корневой системы, но и позитивно сказывается на дальнейших этапах роста и развития растений, что имеет важное значение для агрономической практики.

Библиографические ссылки

1. Полевой, В. В. Физиология растений: учеб. для биол. спец. вузов / В. В. Полевой. М.: Высш. шк., 1989. 464 с. (печатное издание, 1 автор)
2. Host-microbe interactions: shaping the evolution of the plant immune response / Chisholm ST. [et al] // Cell Feb. 2006 Vol. 124, iss. 4. P.803-814 (статья в печатном журнале, более 3 авторов)
3. Thakur M., Sohal B. S. Role of elicitors in inducing resistance in plants against pathogen infection: a review //International Scholarly Research Notices. 2013. Т. 2013. №. 1. С. 762412. (статья в печатном журнале, 2 автора)
4. A polysaccharide of *ganoderma lucidum* enhances antifungal activity of chemical fungicides against soil-borne diseases of wheat and maize by induced resistance / Yang X. [et al] //Agriculture Jan. 2022 Vol 12, iss.1. P. 55 (статья в электронном журнале, 7 авторов)
5. RhizoVision Explorer: open-source software for root image analysis and measurement standardization / Seethapalli A. [et al] // AoB plants Dec. 2021 Vol. 13, iss. 6. P. 1–15 (статья в печатном журнале, 6 авторов)