

УДК 635.21/.24:577.27:551.524

<https://doi.org/10.31016/978-5-6053355-1-1.2025.26.329-333>

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ *MELOIDOGYNE INCOGNITA* И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ ТОМАТОВ, ЗАРАЖЕННЫХ НЕМАТОДОЙ

Удалова Ж. В.^{1,2},
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
лаборатории фитопаразитологии

Зиновьева С. В.¹,
доктор биологических наук, главный научный сотрудник
лаборатории фитопаразитологии

Аннотация

Наночастицы серебра (НЧ Ag) обладают уникальными биологическими свойствами, способны влиять на различные аспекты жизнедеятельности и метаболические процессы растений и животных. Однако ионы серебра достаточно токсичны для организмов. Благодаря огромным возможностям целевого воздействия на растение и поражающих его патогенов, применение НЧ может стать потенциальной стратегией борьбы с фитопатогенами, в том числе с нематодами. В работе представлены данные исследования действия НЧ Ag, полученных методом лазерной абляции, на личинок галловой нематоды и на зараженные растения томатов. НЧ Ag проявляли нематостатическое действие в концентрации 5 мг/мл, но при десятикратном разведении оказывали лишь небольшое нематостатическое влияние. Показано, что низкие концентрации НЧ (0,5–0,125 мг/л) не угнетали развитие растений томатов, а стимулировали прорастание семян. Исследованные НЧ Ag оказали индуцирующее влияние на устойчивость томатов к фитонематодам, на что указывают снижение зараженности корней, а также улучшение физиологического состояния растений, показателем которого является увеличение пула иссле-

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук (119071, Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 33)

² Всероссийский научно-исследовательский институт фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской академии наук» (117218, Россия, г. Москва, ул. Б. Черемушкинская, д. 28)

дованных нами фотосинтетических пигментов при использовании концентрации НЧ Ag 0,25 мг/л по сравнению с зараженным контролем.

Ключевые слова: наночастицы серебра, *Meloidogyne incognita*, нематодические свойства, томат, фотосинтез

EFFECT OF SILVER NANOPARTICLES ON THE VIABILITY OF *MELOIDOGYNE INCOGNITA* AND PHOTOSYNTHETIC INDICES OF NEMATODE-INFECTED TOMATO PLANTS

Udalova Z. V.^{1,2},
Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
of the Laboratory of Phytoparasitology

Zinovieva S. V.¹,
Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher
of the Laboratory of Phytoparasitology

Abstract

Silver nanoparticles (Ag NPs) have unique biological properties and can affect various aspects of vital activity and metabolic processes in plants and animals, but silver ions are quite toxic to organisms. Due to the enormous potential for targeted action on plants and pathogens that affect them, the use of NPs can become a potential strategy to control phytopathogens including nematodes. The paper presents data of a study on the effect of Ag NPs obtained by laser ablation on root-knot nematode larvae and infected tomato plants. Ag NPs exhibited a nematocidal effect at a concentration of 5 mg/mL but had only a slight nematostatic effect at a tenfold dilution. It was shown that low NP concentrations (0.5–0.125 mg/L) did not inhibit the development of tomato plants and stimulated seed germination. The studied Ag NPs had an inducing effect on the tomato resistance to the phytonematodes as indicated by a decrease in root infection, as well as an improvement in the physiological state of plants, an indicator of which is an increase in the pool of photosynthetic pigments we studied when using a concentration of Ag NPs of 0.25 mg/L as compared to the infected control.

Keywords: silver nanoparticles, *Meloidogyne incognita*, nematocidal properties, tomato, photosynthesis

¹ Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences (33, Leninsky pr., Moscow, 119071, Russia)

² All-Russian Scientific Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plant – a branch of the Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre VIEV" (28, Bolshaya Cheremushkinskaya st., Moscow, 117218, Russia)

Введение. Наноматериалы обладают огромным потенциалом для целевого воздействия на растения и патогенные организмы, поражающие их. Они могут стать перспективной стратегией защиты растений от заболеваний, включая болезни, вызываемые паразитическими нематодами [1]. НЧ провоцируют окислительный стресс в организме нематод, воздействуя на дыхательные ферменты, нарушая функции ДНК в обработанных клетках и вызывая другие негативные процессы [2, 3]. Известно, что соединения серебра имеют широкий спектр антимикробной активности, а в растениях коллоидное серебро является фактором, вызывающим активизацию образования активных форм кислорода (АФК) и запуск реакций, связанных с развитием приобретенной системной устойчивости. В представленной работе обсуждаются результаты исследования действия коллоидных водных растворов НЧ Ag, полученных методом лазерной абляции, в отношении нематодцидных/нематостатических свойств, а также фитотоксичности/ростстимулирования растений. Для оценки физиологического состояния растений при заражении *Meloidogyne incognita* проведено исследование фотосинтетической активности томатов обработанных НЧ Ag.

Материалы и методы. В экспериментах использованы НЧ Ag, полученные методом лазерной абляции в Институте металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН. Размеры частиц составляют 40–45 нм, ζ -потенциал равен -33,5 мВ. Для определения нематодцидной/нематостатической активности были приготовлены серии растворов с различной концентрацией НЧ (5; 0,5; 0,25; 0,125 мг/л), в которых экспонировали личинки *M. incognita*. Семена поверхностно стерилизованных томатов F1 Гамаюн, восприимчивых к галловой нематоде замачивали в 2 мл водных 0,5; 0,25; 0,125 мг/л растворов препарата в течение 2 часов, затем в чашках Петри помещали во влажную камеру для прорастания (при 25 °С), контролем были семена, замоченные в воде. Пророщенные семена высаживали в отдельные вазоны. Через 1,5 мес. растения были обработаны растворами НЧ, а затем заражены *M. incognita* – 1000 экз/раст. Контроль – зараженные и здоровые растения без обработки. Повторность шестикратная. Растения выращивались при температуре 25 °С, 70% влажности и фотопериодом 16/8 часов. Через 2 мес. после посадки были взяты верхушечные листья для спектрофотометрического определения фотосинтетических пигментов.

Результаты исследований. Исследование влияния НЧ Ag на личинки *M. incognita* показало, что через 2 часа экспозиции при концентрации 5 мг/мл 100% нематод утратили подвижность. Помещение неподвижных нематод в воду восстанавливало локомоцию у 50% личинок через

2 часа. При концентрации препарата 0,5 мг/мл утрата подвижности наступала у трети особей через 3 часа, при помещении в воду личинки полностью восстанавливали подвижность. Результаты действия НЧ Ag на развитие растений томатов показало, что скорость прорастания семян в вариантах 0,5 и 0,125 мг/л заметно увеличилась по сравнению с контролем. Обработка семян НЧ в концентрациях 0,25 и 0,125 мг/л оказывала стимулирующее влияние на развитие проростков: в этих вариантах раньше, чем в контроле формировался зародышевый стебелек с семядольными листьями, тогда как в контроле в этот же период были развиты только корешки.

Количественные и качественные изменения пигментного комплекса являются чувствительным показателем физиологического состояния растений и активности их фотосинтетического аппарата. Проведенные исследования показали, что в обработанных НЧ Ag здоровых растениях содержание и качественный состав фонда фотосинтетических пигментов не изменился по сравнению с контролем, что свидетельствует об отсутствии негативного влияния применяемых формы, концентрации и способов обработки на растения. В обработанных НЧ Ag растениях при заражении увеличивалось содержание хлорофиллов «а», «b» и их суммы «a+b» только в варианте 0,25 мг/л (рис.). В остальных вариантах изменений по сравнению с контролем не наблюдалось. Таким образом, полученные результаты показали, что обработка растений томатов НЧ Ag в испытанных концентрациях не вызывала фитотоксического действия на томаты. Концентрация 0,25 мг/мл оказала положительное действие на развитие растений и содержание хлорофиллов.

Ранее проведенное исследование влияния НЧ Ag на систему томата-галловая нематода показало, что при концентрации НЧ 0,25 мг/л зараженность растений была меньше, чем в контроле.

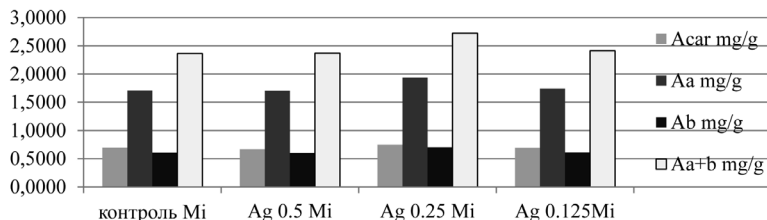


Рис. Содержание фотосинтетических пигментов – А (каротиноидов – а, хлорофиллов «а», «b», их суммы «a+b»), мг/г сырого веса, в листьях томатов, обработанных 0,5; 0,25; 0,125 мг/л растворами НЧ Ag и зараженных *Meloidogyne incognita*

Известно, что НЧ Ag вызывают окислительный стресс, который характеризуется повышенным производством АФК. Но АФК играют сигнальную роль, включая систему антиоксидантной защиты (АОС) растений. При этом НЧ влияют на ферменты АОС и стимулируют накопление в тканях растений низкомолекулярных антиоксидантов пролина, глутатиона и каротиноидов. НЧ Ag способны изменять уровень экспрессии генов, кодирующих ферменты АОС и белки синтеза фотосинтетических пигментов [2]. Выявленные изменения в количественном составе фотосинтетических пигментов при использовании НЧ Ag указывают на повышение метаболической активности томатов и способности противостоять заражению нематодами.

Заключение. Полученные данные показали, что НЧ Ag в концентрации 5 мг/мл обладают нематотическим действием на личинок *M. incognita*, в то время как концентрации 0,5; 0,25 и 0,125 мг/л проявляют слабое нематостатическое действие. НЧ в применяемых концентрациях не угнетали развитие растений: скорость прорастания семян и показатели фотосинтеза заметно увеличились. Зараженность растений снижалась при концентрации 0,25 мг/мл. Представленные данные свидетельствуют о перспективности применения НЧ Ag, полученных методом лазерной абляции с целью повышения устойчивости к галловой нематоды.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН Г. Э. Фолманису и М. А. Федотову за предоставленный препарат НЧ Ag для проведения настоящей работы.

Список источников / References

1. Kumar S., Masurkar P., Sravani B., Bag D., Sharma K. R., Singh P., Korra T., Meena M., Swapnil P., Rajput V. D., Minkina T. A review on phytotoxicity and defense mechanism of silver nanoparticles (AgNPs) on plants. *Journal of Nanoparticle Research*. 2023; 25(54).
2. Yadu B., Chandrakar V., Korram J., Satnami M. L., Kumar M., Sahu K. Silver nanoparticle modulates gene expressions, glyoxalase system and oxidative stress markers in fluoride stressed *Cajanus cajan* L. *Journal of hazardous materials*. 2018; 353: 44–52.
3. Zinovieva, S. V., Udalova Z. V., Khasanova O. S. Nanomaterials in Plant Protection against Parasitic Nematodes. *Biology Bulletin Reviews*. 2023; 13(6): 703–722.