

УДК 632.6.04+620.3

<https://doi.org/10.31016/978-5-6046256-9-9.2022.23.465-470>

## НАНОБИОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СТРАТЕГИЯ БОРЬБЫ С ФИТОПАЗИТИЧЕСКИМИ НЕМАТОДАМИ

Удалова Ж. В.<sup>1,2</sup>,  
кандидат биологических наук,  
старший научный сотрудник лаборатории фитопаразитологии,  
[udalova.zh@rambler.ru](mailto:udalova.zh@rambler.ru)

### Аннотация

Нанобиотехнология – современное направление в сельском хозяйстве, особенно актуальное в области защиты растений, в том числе от паразитических нематод. Уникальные свойства наночастиц (НЧ) в основном связаны с очень значительной площадью по сравнению с занимаемым объемом, что влияет на их химические и физические свойства. В работе обобщены литературные и собственные результаты исследований о возможности применения разнообразных НЧ как металлов (серебро, золото), так и неметаллов (селен, кремний) и их оксидов (оксиды алюминия, титана и кремния) в борьбе с наиболее патогенными видами нематод. Представлены возможные механизмы действия на нематод и растения этих частиц. В частности, показано, что НЧ способны подавлять жизнедеятельность фитопаразитических нематод, за счет высокой реакционной способности, что вызывает в организме нематод окислительный стресс. Они могут воздействовать на дыхательные ферменты, влиять на функции ДНК в клетках обработанных нематод, вызывать их лизис, подавлять активность протеаз нематод. Помимо прямого токсического действия, НЧ снижают репродуктивный потенциал нематод. А также показано опосредованное влияние НЧ через растения, которое осуществляется благодаря их элиситорной активности.

**Ключевые слова:** наночастицы, *Meloidogyne* spp., фитонематоды, защита растений

---

<sup>1</sup> 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)

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук» (119071, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 33)

## NANOBIOTECHNOLOGICAL STRATEGY FOR CONTROL WITH PHYTOPARASITIC NEMATODES

Udalova Zh. V.<sup>1,2</sup>,

Candidate of Biological Sciences,

Senior Researcher of the Laboratory of Phytoparasitology,

udalova.zh@rambler.ru

### Abstract

Nanobiotechnology is a modern trend in agriculture, especially relevant in the field of plant protection, including against parasitic nematodes. The unique properties of nanoparticles (NPs) are mainly associated with a very large area compared to the volume occupied, which affects their chemical and physical properties. The paper summarizes the literature and our own research results on the possibility of using various NPs, both metals (silver, gold) and non-metals (selenium, silicon) and their oxides (aluminum, titanium and silicon oxides) in the control of the most pathogenic nematode species. Possible mechanisms of action of these particles on nematodes and plants are presented. In particular, it has been shown that NPs are able to suppress the vital activity of phytoparasitic nematodes due to their high reactivity, which causes oxidative stress in the organism of nematodes. They can affect respiratory enzymes, affect the DNA functions of treated nematode cells, cause their lysis, and inhibit the activity of nematode proteases. In addition to the direct toxic effect, NPs reduce the reproductive potential of nematodes. It also shows the indirect effect of NPs through plants, which is conducted due to their elicitor activity.

**Keywords:** nanoparticles, *Meloidogyne* spp., phytonematodes, plant protection

**Введение.** Нанобиотехнология – одно из современных междисциплинарных направлений науки. Наночастицы (НЧ), в силу очень небольших размеров, позволяют существенным образом изменить физико-химические свойства вещества. Увеличение удельной площади поверхности является причиной их уникальных свойств, в том числе, оно позволяет увеличивать биологическую активность и степень реакционной способности. НЧ могут быть простыми и композитными, разнообразными по химическому строению и природе проис-

---

<sup>1</sup> 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)

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Institution of Science "A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences" (33, Leninskiy ave., Moscow, 119071, Russia)

хождения, различаться по пространственной структуре и форме, по дисперсности частиц и т. д. Нанотехнология представляет привлекательное направление в сельском хозяйстве, особенно в области защиты растений от паразитических организмов по многим причинам: её рассматривают в качестве транспортного средства для внесения необходимого количества пестицидов; при использовании наноносителей повышается биодоступность и эффективность препаратов, снижается их количество и токсичность; наноносители позволяют осуществлять пролонгированное действие; они предохраняют препараты от агрессивного влияния окружающей среды; НЧ могут улучшать растворимость в воде плохо растворимых препаратов. Сами по себе НЧ могут служить препаратами для снижения патогенного действия различных патогенов, повышая иммунные свойства растительного организма. Способы их получения также разнообразны и базируются на химических, биохимических и физических процессах. Особенно интересными для использования в сельском хозяйстве представляются «зеленый» синтез с помощью биологических систем, позволяющий создавать инкапсулированные, например, в белки НЧ, что предотвращает агрегацию вещества; и наиболее химически чистый – физический метод с помощью лазерной абляции. Несмотря на то, что нанопрепараты в защите растений на первый взгляд несут массу положительных свойств, в аграрной сфере к ним относятся с большой долей осторожности, поскольку их токсичность и активность в отношении живых организмов еще недостаточно изучены. И, тем не менее, исследования в этой области ведутся.

**Материалы и методы.** В данном обзоре обобщены и представлены литературные [1–5] и собственные результаты исследований о возможности применения нанобиотехнологий в борьбе с фитогельминтами.

**Результаты исследований.** Наночастицы металлов и их оксидов. Показано, что некоторые НЧ металлов и их оксидов могут влиять как непосредственно на паразитических нематод, так и действуя опосредованно через растения. Исследования нематодцидных свойств НЧ благородных металлов показали, что действие НЧ серебра (Ag) на паразитических нематод связано с индукцией окислительного стресса в клетках патогена. Нематостатическим действием на личинок *Meloidogyne incognita* обладали НЧ Ag в концентрации от 30 до 150 мкл/мл. Значительное влияние на репродуктивную функцию галловой нематоды было оказано НЧ Ag в концентрациях 500 и 1000 ppm. НЧ Ag в концентрации 1500 ppm приводили к 96,5% гибели нематод через 72 часа. При исследовании НЧ Ag в системе томаты –

*M. incognita* наиболее эффективными дозами были 200–800 мг/мл. При экспозиции модельного объекта, свободноживущей нематоды *Caenorhabditis elegans*, в суспензии НЧ Ag наблюдали значительное повышение уровня экспрессии генов *sod-3* и аномального белка *daf-12*, кодирующего ядерный рецептор, регулирующий переход в стадию дауэровской личинки *C. elegans*. А также было показано, что НЧ Ag в основном накапливаются в области органов размножения, снижая репродуктивный потенциал нематоды. В последнее десятилетие внимание биотехнологов приковано к получению разнообразных НЧ металлов с использованием целого ряда биологических систем: бактерий, водорослей, грибов и высших растений, благодаря восстановлению ионов металла за счет огромного числа, содержащихся в этих системах органических соединений. Так, НЧ Ag, полученные «зеленым» синтезом с помощью водорослей *Ulva lactuca* и *Turbinaria turbinata*, показали эффективное действие на *Meloidogyne javanica* на баклажанах. По количеству яиц на корневую систему действие сравнимо с обработкой химическим нематицидом. Обработка НЧ Ag (17 мг/100 мл *U. lactuca*) снижала численность личинок *M. javanica* в почве на 69,44%, а при обработке НЧ синтезированными *T. turbinata* количество самок в корнях снизилось на 84,51%, что также сопоставимо с обработкой Видатом. При помещении личинок *M. incognita* в раствор НЧ золота (Au), синтезированных *Bacillus licheniformis* GPI-2, 100% гибель личинок нематод происходила через 3 часа. Наиболее эффективным был коллоидный раствор 400 мкл. Высокие дозы НЧ Au были эффективны для снижения заражения растений томата *M. incognita*, а также обработка благоприятно влияла на рост растений. Одним из возможных механизмов действия биоактивных НЧ Au, может быть снижение активности жизненно важной протеазы нематод – трипсина. Это каталитическое ингибирование может объясняться ковалентным и электростатическим взаимодействием металлических НЧ с белками или связыванием с сульфидными группами аминокислоты. С другой стороны, необходимо отметить, что во многих растениях в ответ на воздействие НЧ может активироваться иммунный ответ, включая продукцию АФК и ПОЛ. Но при обработке растений арабидопсиса НЧ Au было показано, что НЧ положительно влияют на рост проростков и обеспечивают частичную защиту от окислительного стресса, вызванного запуском иммунных реакций. Исследование транскриптома и протеома показывают подавление (окислительного) стресса и иммунных реакций, а также усиление генов, способствующих росту растений. Среди исследованных НЧ

оксидов металлов в отношении фитонематод можно выделить НЧ оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ), которые проявляют токсичность для нематод, влияют на их размер, размножение, а также отмечается изменение их реакции на стресс. И НЧ оксида титана ( $TiO_2$ ), которые также обладают токсичностью для нематод и подавляют развитие галловой нематоды на томатах.

Наночастицы неметаллов и их оксиды. Одним из перспективных элементов для получения НЧ в сельском хозяйстве является селен (Se). При исследовании действия НЧ Se в системе томаты – *M. incognita* показано, что НЧ Se индуцируют системную устойчивость растений к патогену, стимулируют процессы роста и развития растений, экспрессируют *PR-6* ген в корнях и листьях инвазированных растений, повышают активность ингибиторов протеиназ, маркеров системной устойчивости растений. Экзогенная обработка растений растворами НЧ Se снижала зараженность растений и ингибировала морфо-физиологические параметры паразитов в корнях. В связи с этим НЧ Se можно рассматривать в качестве абиогенного элиситора устойчивости томатов к паразитическим нематодам. А также получены новые сведения о влиянии НЧ кремния (Si) на содержание питательных веществ и фотосинтетических пигментов в растениях томатов, инвазированных *M. incognita*. При внекорневой обработке растений препаратами в концентрациях 0,5 и 1,0 мкг/мл выявлено увеличение содержания фотосинтетических пигментов и ряда элементов питания (P, Mg, K, S, Fe) в листьях, что является показателем нормализации физиологического состояния зараженных томатов. Показано стимулирующее действие НЧ Si на развитие и рост растений и ингибирующее действие на заражение растений нематодами и морфо-физиологическое состояние паразита. Большой интерес вызывают составы с наносферами оксида кремния ( $SiO_2$ ). Помимо того, что эта защитная оболочка может предохранять препараты от фотодеградациии, её наличие может изменять несистемное поведение, например, пестицидов. Так, наносферы  $SiO_2$  могут повышать способность пестицидов проникать в растение и достигать клеточного сока, тем самым оказывая системный эффект. При экспозиции нематод в среде с НЧ  $SiO_2$  происходит увеличение в популяции особей с фенотипом BOW (bag of worms), который характеризуется задержкой сформировавшихся яиц в репродуктивных органах гермафродитов. Это связывают с тем, что НЧ индуцируют преждевременную возрастную дегенерацию тканей репродуктивной системы нематоды.

**Заключение.** Таким образом, некоторые НЧ металлов, неметаллов и их оксидов могут подавлять жизнедеятельность фитопаразитических нематод, в основном это связано с высокой реакционной способностью этих частиц, которые вызывают в организме нематод окислительный стресс, воздействуют на дыхательные ферменты, влияют на функцию ДНК в обработанных клетках, вызывают их лизис, могут влиять на активность протеаз. Некоторые НЧ оказывают разрушающее воздействие на репродуктивные органы нематод. А также возможно опосредованное их влияние на нематод через растения благодаря элиситорной активности.

#### Список источников / References

1. Al-Kazafy H. S. Role of nanotechnology applications in plant-parasitic nematode control. *Nanobiotechnology Applications in Plant Protection*. 2019: 223-240.
2. Bhau B. S., Phukon P., Ahmed R., et al. A novel tool of nanotechnology: nanoparticle mediated control of nematode infection in plants. *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity*. 2016: 253-269.
3. El-Ashry R. M., El-Saadony M. T., El-Sobki A. E., et al. Biological silicon nanoparticles maximize the efficiency of nematicides against biotic stress induced by *Meloidogyne incognita* in eggplant. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2022; 29(2): 920-932.
4. Worrall E. A., Hamid A., Mody K. T., et al. Nanotechnology for plant disease management. *Agronomy*. 2018; 8: 285. <https://doi.org/10.3390/agronomy8120285>
5. Shang Y., Hasan M., Ahammed G. J., et al. Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: A Review. *Molecules*. 2019; 24(14): 2558. <https://doi.org/10.3390/molecules24142558>