



УДК 57.017.64

<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.37.16>

Влияние нанокompозитов селена в природных полимерных матрицах на антиоксидантный статус растений картофеля *in vitro*

О. А. Ножкина¹, А. И. Перфильева¹, Н. С. Забанова^{1,2}, Т. В. Ганенко³
Н. И. Нечаев², А. В. Третьякова², И. А. Граскова¹

¹ Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, г. Иркутск, Россия

² Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

³ Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН, г. Иркутск, Россия

E-mail: pavnatser@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования по влиянию химически синтезированных нанокompозитов селена (НК) в природных полимерных матрицах – арабиногалактане (содержание селена 6,4 %) и крахмале (содержание селена 1,2 %) на состояние антиоксидантной системы растений картофеля *in vitro*. Эксперименты проводились на растениях картофеля, восприимчивого к заражению фитопатогенной бактерией *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus* (Cms) сорта Лукьяновский. На незаражённых и заражённых Cms растениях проведены исследования влияния НК на содержание активных форм кислорода (АФК) в тканях корней, активность фермента пероксидазы в тканях корней и листьев, содержание продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) – диеновых конъюгатов (ДК) и малонового диальдегида (МДА) в тканях корней и листьев картофеля.

Ключевые слова: селен, нанокompозиты, арабиногалактан, крахмал, картофель, стресс, кольцевая гниль, диеновые конъюгаты, малоновый диальдегид.

Для цитирования: Влияние нанокompозитов селена в природных полимерных матрицах на антиоксидантный статус растений картофеля *in vitro* / О. А. Ножкина, А. И. Перфильева, Н. С. Забанова, Т. В. Ганенко, Н. И. Нечаев, А. В. Третьякова, И. А. Граскова // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2021. Т. 37. С. 16–30. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.37.16>

Введение

Селен является важным микроэлементом для растений. Он участвует в окислительно-восстановительных процессах в клетке, синтезе необходимых соединений и развитии механизмов устойчивости организма к стрессам различной природы [White, 2018]. По причине недостатка селена в почве и токсичности его соединений возникает интерес к применению наноразмерных частиц селена для обработки растений. Функциональные селенсодержащие полимерные нанокompозиты (НК) находят широкое применение в ветеринарии и растениеводстве, являются основой медико-биологических препаратов с разнообразными видами активностей (антимикробной, противогрибковой, противовирусной, противоопухолевой и т. д.), обладают антиоксидантным и иммуномодулирующим действием [Prasad, Bhattacharyya,

Nguyen, 2017; Nanofertilizer for precision ... , 2018; Recent developments in ... , 2018; He, Deng, Hwang, 2019]. Свойства таких материалов во многом определяются полимерной матрицей (низкая токсичность, гидрофильность, биосовместимость, биологическая активность, термическая и химическая стойкость), а также параметрами наноразмерной фазы (размеры, форма, дисперсность и пространственная локализация), что определяет возрастающий интерес к контролируемому синтезу подобных гибридных материалов.

Существуют различные методы синтеза наночастиц (НЧ) селена: физический, химический, а также «зелёная химия» – синтез с использованием организмов – бактерий, грибов и растений. Существующие исследования свидетельствуют о положительном влиянии наноселена на жизнеспособность растений и их устойчивость к стрессу [Evaluation of cytotoxicity ... , 2019; Selenium improves photosynthesis ... , 2015; Selenium nanoparticles induced ... , 2020; The modified qualities ... , 2015]. Такой эффект связывают с повышением интенсивности фотосинтеза, изменением жирнокислотного профиля липидов, снижением уровня перекисного окисления липидов, увеличением содержания необходимых органических соединений в тканях растений, а также с увеличением активности антиоксидантных ферментов в результате воздействия наночастиц селена. Степень влияния зависит от величины наночастиц и от применяемой концентрации.

Ранее в наших исследованиях была изучена биологическая активность химически синтезированных наноконпозитов селена в природных полимерных матрицах [Biological activity ... , 2020; Development of antimicrobial ... , 2017; Selenium nanocomposites ... , 2019; Synthesis of selenium ... , 2018; The biological activity ... , 2019]. В исследованиях показано наличие антибактериальных эффектов наноконпозитов по отношению к фитопатогенной бактерии *Clavibacter sepedonicus* (*Cms*), проведены серии испытаний по оценке влияния наноконпозитов селена на растения картофеля *in vitro* с применением биометрических параметров и микроскопии, отмечено стимулирующее влияние на рост и развитие семян растений [Growth-stimulating activity ... , 2020]. Ранее нами было выявлено, что исследованные наноконпозиты эффективны в низких дозах, не накапливаются в тканях растений и не оказывают негативного влияния на почвенную микрофлору [Biological activity ... , 2020; Selenium nanocomposites ... , 2019; The biological activity ... , 2019]. При этом состояние растений с точки зрения статуса окислительно-восстановительной системы растения, свидетельствующей об уровне стрессовой нагрузки на растение под влиянием НК, не было изучено.

Цель настоящей работы – исследование влияния наноконпозитов селена в природных полимерных матрицах на статус антиоксидантной системы растений картофеля.

Материалы и методы

Наноконпозиты селена. Наноконпозиты селена, полученные путём химического синтеза, представляют собой НЧ, стабилизированные природными полимерами – арабиногалактаном, выделенным из древесины лист-

венницы сибирской *Larix sibirica*, и картофельным крахмалом (коммерческий препарат Sigma), произведёнными в Иркутском институте химии им. А. Е. Фаворского СО РАН (г. Иркутск). Прекурсором используемых нанокompозитов являлся оксид селена. Содержание селена в нанокompозите с арабиногалактаном (НК Se/Ag) составляло 6,4 %, а в нанокompозите с крахмалом (НК Se/Kp) 1,2 %. Для экспериментов использовали растворы НК с содержанием селена в конечной концентрации 0,000625 %.

Культивирование растений картофеля. Влияние НК изучали *in vitro* на растениях картофеля сорта Лукьяновский, восприимчивого к *Cms* [The role of ... , 1999]. Микроклональное размножение пробирочных растений осуществляли с помощью черенкования на агаризованной питательной среде Мурасиге – Скуга (Sigma, США). Растения культивировали в факторостатных условиях в течение 20 сут. при 26 °С и освещённости 5–6 кЛк.

Схема эксперимента. Растения картофеля в возрасте двух недель переносили в жидкую питательную среду Марасиге – Скуга. Спустя 2 сут. в среду роста растений вносили бактериальную суспензию и культивировали в течение 4 сут. После этого этапа колонизации растения патогеном в питательную среду роста растений вносили водный раствор НК и инкубировали в течение 1 ч. Затем определяли уровень активных форм кислорода (АФК), активность пероксидазы, а также содержание диеновых конъюгатов (ДК) в тканях корней и листьев. Для определения количества малонового диальдегида (МДА) растения, как здоровые, так и заражённые фитопатогенной бактерией *Cms*, инкубировали с НК в течение 3 сут.

Биохимические исследования. Содержание уровня АФК в тканях картофеля определяли с применением специального флуоресцентного красителя. Образцы тканей корней растений инкубировали 30 мин с 5 мкМ CellROX Deep Red Reagent (ex/em 644/665 nm) (Thermo Fisher Scientific, США), растворённом в фосфатном буфере. Далее ткань фиксировали 2%-ным параформальдегидом в течение 15 мин. Полученные препараты промывали средой культивирования растений и после фиксировали ProLong Gold antifade reagent (Thermo Fisher Scientific, США). Исследование проводили на конфокальном микроскопе LSM 710 (Zeiss, Germany) с применением лазеров 405, 561 нм и фильтров Ch1 410–522. Определение первичных продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) – ДК в тканях растений картофеля проводили по стандартной методике с использованием гексана и изопропанола [Владимиров, Арчаков, 1972]. Концентрацию МДА определяли по стандартной методике [Heath, Packer, 1968] с применением 20%-ной трихлоруксусной кислоты (ТХУ) и 0,5%-ного раствора тиобарбитуровой кислоты (ТБК).

Результаты и обсуждение

Стрессовые воздействия различной природы приводят к изменениям в организме растения на физиологическом и молекулярном уровнях, что оказывает влияние на его рост и развитие. Первичной реакцией растения на стресс является повышение содержания в тканях уровня АФК, что может приводить к активации процессов ПОЛ [Fichman, Mittler, 2020; Nadarajah,

2020; Regulation of ROS ... , 2020; Proteomics and metabolomics ... , 2021; Lanza, dos Reis, 2021]. АФК выполняют двойную функцию при стрессах. В высоких концентрациях они токсичны для клеток растений, способны приводить к их повреждению и угнетению биохимических процессов. С другой стороны, АФК являются молекулами-мессенджерами, активизирующими каскады защитных реакций растительного организма: они функционируют в качестве преобразователя сигнала, который активирует местную и системную реакции защиты растений [Mittler, 2017].

Для выявления эффекта воздействия НК Se/Ag и НК Se/Kp на состояние окислительно-восстановительной системы на первом этапе нами было исследовано содержание АФК в тканях корней картофеля. Полученные данные показали, что при заражении растений бактериальным патогеном *Cms*, вызывающим кольцевую гниль картофеля, содержание АФК значительно возрастает по сравнению со здоровыми растениями, что свидетельствует о стрессовой нагрузке на растительный организм. При инкубировании растений с НК содержание количества АФК также увеличивается в 1,5–2 раза по сравнению с контролем, что может быть связано с действием биотического стресса у растений или с реакцией на НК. Однако при воздействии НК на заражённые патогеном растения содержание АФК снижается. Этот эффект был более выражен в варианте обработки заражённых растений НК Se/Kp. Полученные данные свидетельствуют о том, что за счёт антиоксидантного действия нанокomпозитных веществ уменьшается стрессовая нагрузка на инфицированные *Cms* растения (рис. 1).

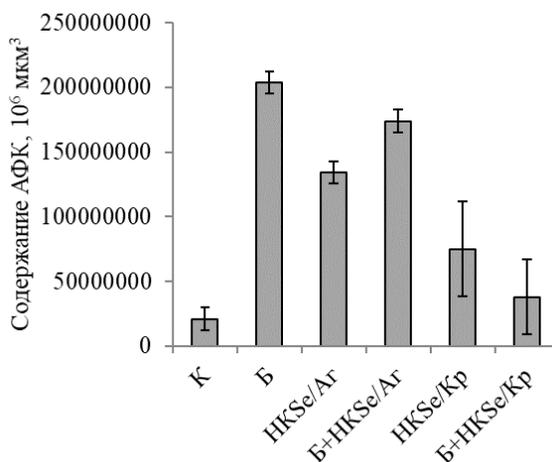


Рис. 1. Влияние НК на содержание АФК в тканях корней картофеля сорта Лукьяновский *in vitro*. Обозначения: К – контроль; Б – растения, заражённые *Cms*; НК Se/Ag – в среду роста растения внесён НК Se/Ag; Б + НК Se/Ag – в среду роста инфицированного *Cms* растения внесён НК Se/Ag; НК Se/Kp – в среду роста растения внесён НК Se/Kp; Б + НК Se/Kp – в среду роста инфицированного *Cms* растения внесён НК Se/Kp

Растения развили механизмы для контроля производства и удаления АФК с помощью ферментативных и неферментативных антиоксидантных процессов, важная роль в которых принадлежит ферментам. На следующем этапе нами было изучено изменение активности одного из ключевых ферментов антиоксидантной защиты – пероксидазы – в тканях листьев и корней картофеля под влиянием НК (рис. 2, а, б).

Пероксидаза – фермент, нейтрализующий перекись водорода (H_2O_2), принимает участие в катаболизме ауксина, заживлении ран, в регулировке роста, созревания и старения растительных тканей, а также в процессах обеспечения устойчивости при вирусных и бактериальных заражениях. Действие растительных пероксидаз основано на окислении различных субстратов в присутствии H_2O_2 [Граскова, 2011]. Субклеточная локализация фермента пероксидазы отражает три различных процесса, а именно пероксидазивный, окислительный и гидроксильный циклы для поддержания уровня АФК внутри клетки. Являясь ферментом антиоксидантной защиты, пероксидазы III класса являются важной начальной защитой, адаптированной растениями для борьбы с биотическими и абиотическими стрессами, уровень активности фермента используют как показатель стрессовой нагрузки на растительный организм [Class III peroxidases ... , 2018; Kidwai, Ahmad, Chakrabarty, 2020; Recent developments in ... , 2021].

Эксперименты по определению активности пероксидазы показали, что при заражении растений *Sms* её активность повышается по сравнению со здоровыми растениями. В эксперименте в тканях корней после 1 ч инкубирования незаражённых растений с НК видимый эффект не был обнаружен (рис. 2, а). При обработке НК Se/Ag и НК Se/Kp заражённых *Sms* растений картофеля в тканях листьев активность фермента снижается по сравнению с инфицированными растениями без обработок НК (рис. 2, б).

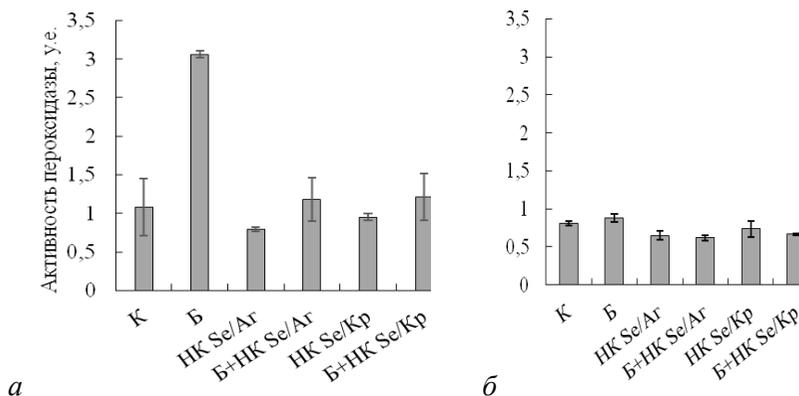
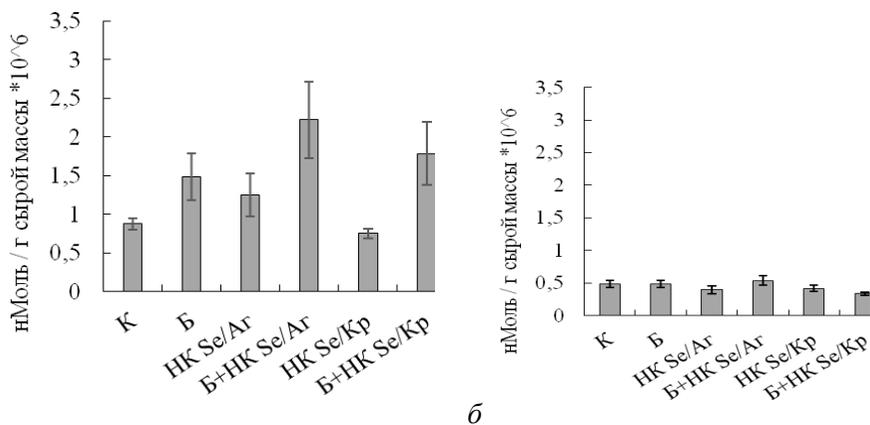


Рис. 2. Влияние НК на активность пероксидазы в тканях корней (а) и листьев (б) картофеля сорта Лукьяновский *in vitro*. Обозначения см. на рис. 1

Токсиканты и другие факторы стресса, способствующие значительному повышению содержания АФК в клетке, способны активировать процессы ПОЛ. Количество продуктов ПОЛ в тканях растений резко возрастает при неблагоприятных условиях. Интенсивность ПОЛ в растениях может быть оценена путём измерения уровней МДА и ДК соответственно [Free radical scavenging ... , 1998]. Основная опасность протекания процессов ПОЛ для растений сводится к вероятности полной потери мембранами клеток барьерной функции [Чеснокова, Понукалина, Бизенкова, 2007; Blokhina, Virolainen, Fagersted, 2001]. Первичным продуктом такого процесса, наряду с образованием АФК, являются диеновые конъюгаты, увеличение содержания которых приводит к нарушению функции клеточной мембраны. Поэтому на следующем этапе исследований было проанализировано изменение количества ДК (рис. 3) и МДА (рис. 4) в тканях корня и листьев картофеля после обработки НК. При заражении *Sms* в тканях корня (рис. 3, а) отмечается повышение содержания ДК по сравнению с контрольными здоровыми растениями. Данные, полученные при исследованиях тканей листьев (рис. 3, б), показывают, что содержание ДК увеличено и у здоровых, и заражённых растений, что объяснимо действием реакций ПОЛ. При обработке растений НК Se/Ag в тканях корней здорового картофеля наблюдается повышение уровня ДК, зато в тканях листьев эффект не выявлен. При заражении растений *Sms* такое повышение отмечено и в тканях корней, и в тканях листьев. При обработке НК Se/Kr снижение уровня ДК наблюдается в тканях как корней, так и листьев. В варианте с инфицированием растений *Sms* в тканях корней уровень ДК после 1 ч обработки НК Se/Kr повышается, а в тканях листьев наблюдается снижение. Различный эффект НК на исследуемый показатель, возможно, связан с природой самого полисахарида, из которого синтезирован НК [Chen, Huang, 2018]. Кроме того, это может быть связано с токсичным действием и размерами наноселена, инкапсулированного в них. Наночастицы селена имели округлую форму, но в зависимости от нанокompозита различались по размерам [Effect of natural ... , 2021].

Растения реагируют на инфекцию увеличением продуцирования свободных радикалов кислорода, которые впоследствии дисмутируют к пероксиду водорода с участием супероксид-дисмутазы. Продуктами ПОЛ наряду с другими веществами являются высокореакционные диальдегиды, среди которых МДА обнаруживается в небольших концентрациях. Эти соединения способны взаимодействовать с биополимерами клеток, в том числе и липидами мембран, окислять их и образовывать сшивки, таким образом изменяя свойства мембран, а значит, и метаболизм всей клетки [Поликсенова, 2009]. Образование МДА в процессах ПОЛ происходит также при разложении полиненасыщенных липидов. МДА вызывает токсический стресс в клетках и приводит к их гибели. Производство этого альдегида используется в качестве биомаркера для измерения уровня окислительного стресса в организме. Проведённые исследования на тканях корней растений по сравнению с контрольными образцами видимого эффекта НК Se/Ag на содержание МДА не выявили (рис. 4, а, б). В варианте с заражёнными *Sms* растениями

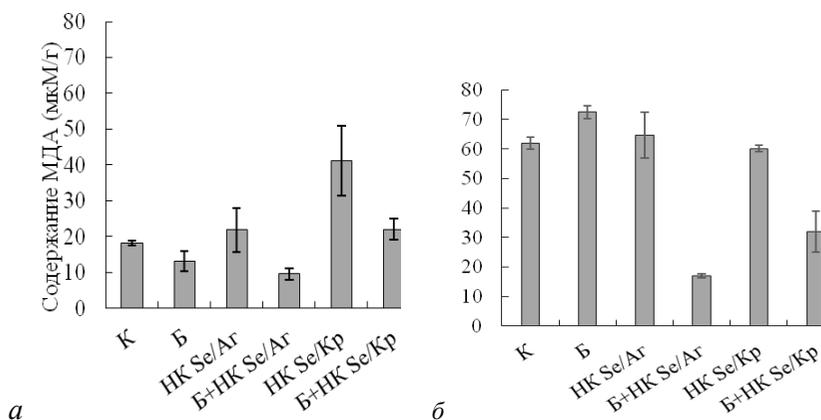
НК Se/Ag снижал показатель МДА, что, возможно, обусловлено природой полисахаридной матрицы [Структура и иммуномодулирующее ... , 2007]. Исследования, проведённые на тканях корней и листьев картофеля, инкубированного с НК Se/Кр, не выявили видимого эффекта в варианте без заражения *Sms* по сравнению с контрольными растениями. В варианте с заражением и внесением НК в тканях корней (рис. 4, а) показатель МДА незначительно повышен по сравнению с необработанными заражёнными растениями. При исследовании уровня МДА в тканях листьев (рис. 4, б) заражённого *Sms* картофеля после обработки НК обнаружено снижение исследуемого показателя.



а

б

Рис. 3. Влияние заражения, обработки НК Se/Ag и НК Se/Кр на содержание ДК (мкМ/г) в тканях корней (а) и листьев (б) картофеля сорта Лукьяновский *in vitro*. Обозначения см. на рис. 1



а

б

Рис. 4. Влияние НК Se/Ag на содержание МДА (мкМ/г) в тканях корней (а) и листьев (б) картофеля сорта Лукьяновский в динамике при инкубации с НК *in vitro*. Обозначения см. на рис. 1

Исследования по изучению интенсивности образования МДА в тканях листьев картофеля выявили, что при заражении растений количество выделяемого МДА растёт по сравнению со здоровыми растениями (см. рис. 4, б). При обработке растений НК по сравнению с контрольными образцами эф-

фекта не было выявлено. В варианте с заражёнными растениями в комбинации с обработками НК (варианты: Б+НК Se/Ag; Б+НК Se/Kp) образование МДА снижается.

Заключение

Таким образом, в ходе исследований было обнаружено, что при заражении бактериальным патогеном *Sms* отмечается всплеск содержания АФК в тканях корней растений картофеля спустя 4 сут. инкубирования. При внесении НК в среду роста в тканях корней растений картофеля и инкубировании в течение 1 ч также отмечается незначительный рост содержания АФК в тканях корней растений. Однако при обработке НК заражённых *Sms* тканей картофеля содержание образовавшихся при стрессе АФК снижается: наиболее выраженный эффект показал вариант обработки заражённых растений НК Se/Kp. Исследования по определению активности пероксидазы показали, что при инкубировании растений с фитопатогеном *Sms* уровень активности фермента повышается. При обработке здоровых растений картофеля НК обоих вариантов выраженного эффекта не было выявлено. В варианте с заражёнными *Sms* растениями в тканях корней и листьев после 1 ч обработки НК обнаружено снижение активности пероксидазы.

В ходе оценки наличия первичной стрессовой реакции у растений (уровень ДК) выяснилось отсутствие ДК в тканях листьев и корней здоровых растений после одночасового инкубирования с НК Se/Kp. Однако при обработке неинфицированных растений НК Se/Ag зарегистрировано незначительное повышение уровня их содержания. При инфицировании растений картофеля *Sms* в тканях листьев после 1 ч обработки НК Se/Kp и НК Se/Ag выявлено снижение уровня ДК.

Повышение содержания МДА в тканях корня неинфицированных растений после обработки НК Se/Ag и НК Se/Kp отмечено через 72 ч с момента начала наблюдений. Однако НК ингибировали этот эффект в вариантах с заражёнными *Sms* растениями. Все эффекты, выявленные после обработки НК, вероятно, могут быть обусловлены их ослабляющим повреждение биологических мембран антиоксидантным действием, размерами наночастиц селена и их проницаемостью, а также антибактериальными и антиоксидантными свойствами инкапсулированного в полисахаридные матрицы селена. Исходя из вышепредставленных результатов, можно предположить определённые перспективы использования НК в качестве антиоксидантного средства для борьбы с бактериальными заболеваниями растений.

Работа выполнена с использованием коллекций ЦКП «Биоресурсный центр» СИФИБР СО РАН, ЦКП «Ультрамикроанализ» ЛИИ СО РАН ((<http://www.lin.irk.ru/copp/rus/>)).

Список литературы

- Владимиров Ю. А., Арчаков А. И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М. : Наука, 1972. 252 с.
- Граскова И. А. Роль пероксидаз в устойчивости растений к биотическому стрессу. Saarbrücken : LAP Lambert Acad. Publ., 2011. 300 с.

Структура и иммуномодулирующее действие арабиногалактана лиственницы сибирской и его производных металлов / В. И. Дубровина, С. А. Медведева, С. А. Витязева, О. Б. Колесникова, Г. П. Александрова, Л. О. Гуцол, Л. А. Грищенко, Т. Д. Четверякова. Иркутск : Аспринт, 2007. 145 с.

Поликсенова В. Д. Индуцированная устойчивость растений к патогенам и абиотическим стрессовым факторам: на примере томата // Вестник Белорусского государственного университета. 2009. Серия 2, Химия, биология, география. № 1. С. 48–60.

Чеснокова Н. П., Понукалина Е. В., Бизенкова М. Н. Механизмы структурной и функциональной дезорганизации биосистем под влиянием свободных радикалов // Фундаментальные исследования. 2007. № 4. С. 110–121.

Biological activity and safety for the environment of selenium nanoparticles encapsulated in starch macromolecules / A. I. Perfileva, O. A. Nozhkina, M. S. Tretyakova, I. A. Graskova, I. V. Klimenkov, N. P. Sudakov, G. P. Alexandrova, B. G. Sukhov // Nanotechnologies in Russia. 2020. Vol. 15, N 1. P. 96–104. <https://doi.org/10.1134/S1995078020010152>

Blokhina O., Virolainen E., Fagersted K. V. Antioxidants, oxidative stress and oxygen deprivation stress: a review // Annals of Botany. 2001. Vol. 91. P. 179–194. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf118>

Chen F., Huang G. Preparation and immunological activity of polysaccharides and their derivatives // Int. J. Biol. Macromol. 2018. Vol. 112. P. 211–216. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.169>

Class III peroxidases in cellulose deficient cultured maize cells during cell wall remodeling / R. Martínez-Rubio, J. L. Acebes, A. Encina, A. Kärkönen // Physiol. Plant. 2018. Vol. 164. P. 45–55. <https://doi.org/10.1111/ppl.12710>

Development of antimicrobial nano-selenium biocomposite for protecting potatoes from bacterial phytopathogens / A. I. Perfileva, S. M. Moty'leva, I. V. Klimenkov, I. A. Graskova, B. G. Sukhov, B. A. Trofimov // Nanotechnologies in Russia. 2017. Vol. 12, N 9–10. P. 553–558. <https://doi.org/10.1134/S1995078017050093>

Evaluation of cytotoxicity, biochemical profile and yield components of groundnut plants treated with nano-selenium / H. A. Hussein, O. M. Darwesh, B. B. Mekki, S. M. El-Hallouty // Biotechnol. Rep. (Amst). 2019. Vol. 12, N 24. P. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00377>

Exogenous nitric oxide (NO) interferes with lead (Pb)-induced toxicity by detoxifying reactive oxygen species in hydroponically grown wheat (*Triticum aestivum*) roots / G. Kaur, H. P. Singh, D. R. Batish, P. Mahajan, R. K. Kohli, V. Rishi // PLoS ONE. 2015. Vol. 10. P. e0138713. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138713>

Effect of natural polysaccharide matrix-based selenium nanocomposites on phytophthora cactorum and rhizospheric microorganisms / A. I. Perfileva, O. M. Tsvileva, O. A. Nozhkina, M. S. Karepova, I. A. Graskova, T. V. Ganenko, B. G. Sukhov, K. V. Krutovsky // Nanomaterials. 2021. Vol. 11, N 9. <https://doi.org/10.3390/nano11092274>

Fichman Y., Mittler R. Rapid systemic signaling during abiotic and biotic stresses: is the ROS wave master of all trades? // Plant J. 2020. Vol. 102, N 5. P. 887–896. <https://doi.org/10.1111/tbj.14685>

Free radical scavenging as affected by accelerated ageing and subsequent priming in sunflower seeds / C. Bailly, A. Benamar, F. Corbineau, D. Côme // Physiol. Plant. 1998. Vol. 104. P. 646–652. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1040418.x>

Growth-stimulating activity of natural polymer-based nanocomposites of selenium during the germination of cultivated plant seeds / V. N. Nurminsky, A. I. Perfileva, I. S. Kapustina, I. A. Graskova, B. G. Sukhov, B. A. Trofimov // Doklady Biochemistry and Biophysics. 2020. Vol. 495. P. 296–299. <https://doi.org/10.1134/S1607672920060113>

He X., Deng H., Hwang H. M. The current application of nanotechnology in food and agriculture // J. Food Drug Anal. 2019. Vol. 27, N 1. P. 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.12.002>

Heath R. L., Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation // Archives Biochem. Biophysic. 1968. Vol. 125. P. 189–198. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)

Kidwai M., Ahmad I. Z., Chakrabarty D. Class III peroxidase: an indispensable enzyme for biotic/abiotic stress tolerance and a potent candidate for crop improvement // *Plant Cell Rep.* 2020. Vol. 39, N 11. P. 1381–1393. <https://doi.org/10.1007/s00299-020-02588-y>

Lanza M. G. D. B., dos Reis A. R. Roles of selenium in mineral plant nutrition: ROS scavenging responses against abiotic stresses // *Plant Physiol. Biochem.* 2021. Vol. 164. P. 27–43. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.04.026>

Mittler R. ROS are good // *Trends Plant Sci.* 2017. Vol. 22. P. 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.08.002>

Nadarajah K. K. ROS homeostasis in abiotic stress tolerance in plants // *Int. J. Mol. Sci.* 2020. Vol. 21, N 15. P. 5208. <https://doi.org/10.3390/ijms21155208>

Nanofertilizer for precision and sustainable agriculture: current state and future perspectives / R. Raliya, V. Saharan, C. Dimkpa, P. Biswas // *J. Agric. Food Chem.* 2018. Vol. 5, N 66 (26). P. 6487–6503. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02178>

Prasad R., Bhattacharyya A., Nguyen Q. D. Nanotechnology in sustainable agriculture: recent developments, challenges, and perspectives // *Front. Microbiol.* 2017. Vol. 20, N 8. P. 1014. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01014>

Proteomics and metabolomics studies on the biotic stress responses of rice: an update / K. T. X. Vo, M. M. Rahman, M. M. Rahman, K. T. T. Trinh, S. T. Kim, J. S. Jeon // *Rice.* 2021. Vol. 14. P. 30. <https://doi.org/10.1186/s12284-021-00461-4>

Recent developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress / V. D. Rajput, Harish, R. K. Singh, K. K. Verma, L. Sharma, F. R. Quiroz-Figueroa, M. Meena, V. S. Gour, T. Minkina, S. Sushkova, S. Mandzhieva // *Biology (Basel).* 2021. Vol. 10, N 4. P. 267. <https://doi.org/10.3390/biology10040267>

Recent developments in nanotechnology transforming the agricultural sector: a transition replete with opportunities / D. Y. Kim, A. Kadam, S. Shinde, R. G. Saratale, J. Patra, G. Ghodake // *J. Sci. Food Agric.* 2018. Vol. 98, N 3. P. 849–864. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8749>

Regulation of ROS metabolism in plants under environmental stress: A review of recent experimental evidence / M. Hasanuzzaman, M. H. M. B. Bhuyan, K. Parvin, T. F. Bhuiyan, T. I. Anee, K. Nahar, M. S. Hossen, F. Zulfiqar, M. M. Alam, M. Fujita // *Int. J. Mol. Sci.* 2020. Vol. 21, N 22. P. 8695. <https://doi.org/10.3390/ijms21228695>

Selenium improves photosynthesis and protects photosystem II in pear (*Pyrus bretschneideri*), grape (*Vitis vinifera*), and peach (*Prunus persica*) / T. Feng, S. S. Chen, D. Q. Gao, G. Q. Liu, H. X. Bai, A. Li, L. X. Peng, Z. Y. Ren // *Photosynthetica.* 2015. Vol. 53. P. 609–612. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0118-1>

Selenium nanocomposites having polysaccharid matrices stimulate growth of potato plants in vitro infected with ring rot pathogen / A. I. Perfileva, O. A. Nozhkina, I. A. Graskova, A. V. Dyakova, A. G. Pavlova, G. P. Aleksandrova, I. V. Klimenkov, B. G. Sukhov, B. A. Trofimov // *Dokl. Biol. Sci.* 2019. Vol. 489. P. 184–188. <https://doi.org/10.1134/S0012496619060073>

Selenium nanoparticles induced variations in growth, morphology, anatomy, biochemistry, gene expression, and epigenetic DNA methylation in *Capsicum annuum*; an *in vitro* study / S. Sotoodehnia-Korani, A. Iranbakhsh, M. Ebadi, A. Majd, Z. O. Ardebili // *Environ. Pollut.* 2020. Vol. 265 (Pt B):114727. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114727>

Synthesis of selenium and silver nanobiocomposites and their influence on phytopathogenic bacterium *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* / A. I. Perfileva, O. A. Nozhkina, I. A. Graskova, A. V. Sidorov, M. V. Lesnichaya, G. P. Aleksandrova, G. Dolmaa, I. V. Klimenkov, B. G. Sukhov // *Russian Chemical Bulletin.* 2018. Vol. 67, N 1. P. 157–163. <https://doi.org/10.1007/s11172-018-2052-4>

The biological activity of a selenium nanocomposite encapsulated with carrageenan macromolecules regarding the ring rot pathogen and potato plants / O. A. Nozhkina, A. I. Perfileva, I. A. Graskova, A. V. Dyakova, V. N. Nurminsky, I. V. Klimenkov, T. V. Ganenko, T. N. Borodina, G. P. Aleksandrova, B. G. Sukhov, B. A. Trofimov // *Nanotechnologies in Russia.* 2019. Vol. 14, N 5–6. P. 255–262. <https://doi.org/10.1134/S1995078019030091>

The modified qualities of basil plants by selenium and/or ascorbic acid / Z. O. Ardebili, N. O. Ardebili, S. Jalili, S. Safiallah // *Turk. J. Bot.* 2015. Vol. 39. P. 401–407. <https://doi.org/10.3906/bot-1404-20>

The role of extracellular pH-homeostasis in potato resistance to ring-rot pathogen / A. S. Romanenko, A. A. Riffel, I. A. Graskova, M. A. Rachenko // *J. Phytopathol.* 1999. Vol. 147, N 11–12. P. 679–686. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0434.1999.00450.x>

White P. J. Selenium metabolism in plants // *Biochim. Biophys. Acta Gen. Subj.* 2018. Vol. 1862, N 11. P. 2333–2342. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2018.05.006>

Influence of Selenium Nanocomposites in Natural Matrices on Antioxidant Status of Potato Plants *in vitro*

O. A. Nozhkina¹, A. I. Perfilova¹, N. S. Zabanova^{1,2}, T. V. Ganenko³,
N. I. Nechaev², A. V. Tretyakova², I. A. Graskova¹

¹ *Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russian Federation*

² *Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation*

³ *A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry SB RAS, Irkutsk, Russian Federation*

Abstract. In the present work researches on influence of chemically synthesized nanocomposites of selenium (NC) in natural polymeric matrices - arabinogalactan (selenium content 6.4%) and starch (selenium content 1.2%) on a condition of antioxidant system of potato plants are presented. It is known that during abiotic or biotic stress, lipid peroxidation products (POL) are formed in plant tissues and the content of reactive oxygen species (ROS) in plant tissues increases, which leads to dysfunction of the plant cell membrane, inhibition of biochemical processes in the plant cell and, as a consequence, cell death. Therefore, the main task of this work was the study of NC for antioxidant activity. Studies have been conducted on the effect of NC on the content of reactive oxygen species (ROS) in potato root tissues, the activity of peroxidase enzyme in the tissues of roots and leaves, and the content of lipid peroxidation products (LPO) - diene conjugates (DC) and malondialdehyde (MDA) in the tissues of roots and leaves of potatoes. Studies were conducted on uninfected potato plants of Lukyanovsky variety (susceptible variety) and infected with phytopathogenic bacterium *Clavibacter sepedonicus* (*Cms*) *in vitro*. The results of the study showed that NC affect the antioxidant system of plants during infection. NC action reduced the release of ROS, reduced the content of LPO products, and also reduced the activity of the enzyme peroxidase. Studies of the primary stress indicator – DC, it was found that only NC Se/Ag had a negligible effect when processing non-infected potato plants, but when at the same time, both studied substances reduced the indicator in the variant with infected plants. Thus, it was found that NC reduces the stress load on the infected plants, reducing cell damage by products of oxidative stress. Perhaps this effect is related to the nature of polysaccharide matrices and the size of encapsulated selenium nanoparticles in them and its toxic effect. Combining all the data obtained, we can talk about the effectiveness of NC in the fight against bacterial diseases of cultivated plants and assume its use as an effective and safe remedy against them.

Keywords: selenium, nanocomposites, arabinogalactan, starch, potato, stress, ring rot, diene conjugates, malondialdehyde.

For citation: Nozhkina O.A., Perfilova A.I., Zabanova N.S., Ganenko T.V., Nechaev N.I., Tretyakova A.V., Graskova I.A. Influence of Selenium Nanocomposites in Natural Matrices on Antioxidant Status of Potato Plants *in vitro*. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2021, vol. 37, pp. 16–30. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.37.16> (in Russian)

References

- Vladimirov Yu.A., Archakov A.I. *Perekisnoe okislenie lipidov v biologicheskikh membranakh* [Lipid peroxidation in biological membranes]. Moscow, Nauka Publ., 1972, 252 p. (in Russian)
- Graskova I.A. *Rol peroksidaz v ustojchivosti rastenii k bioticheskomu stressu* [The role of peroxidases in plant resistance to biotic stress]. Saarbrücken, LAP Lambert Acad. Publ., 2011, 300 p. (in Russian)
- Dubrovina V.I., Medvedeva S.A., Vityazeva S.A., Kolesnikova O.B., Aleksandrova G.P., Gutsol L.O., Grishchenko L.A., Chetveryakova T.D. *Struktura i immunomoduliruyushchee dejstvie arabinogalaktana listvennicy sibirskoj i ego proizvodnyh metallov* [Structure and immunomodulatory action of Siberian larch arabinogalactan and its metal derivatives]. Irkutsk, Asprint Publ., 2007, 145 p. (in Russian)
- Poliksenova V.D. Inducirovannaya ustojchivost rastenij k patogenam i abioticheskim stressovym faktorom: na primere tomata [Induced plant resistance to pathogens and abiotic stress factors on the example of the tomato]. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya 2: Khimiya. Biologiya. Geografiya* [Bul. Belarus. St. Univ. Ser. 2. Chem., Biol., Geogr.], 2009, no. 1, pp. 48-60. (in Russian)
- Chesnokova N.P., Ponukalina E.V., Bizenkova M.N. Mekhanizmy strukturnoi i funktsionalnoi dezorganizatsii biosistem pod vliyaniem svobodnykh radikalov [Mechanisms of structural and functional disorganization of biosystems under the influence of free radicals]. *Fundamental research*, 2007, no. 4, pp. 110-121. (in Russian)
- Perfileva A.I., Nozhkina O.A., Tretyakova M.S., Graskova I.A., Klimenkov I.V., Sudakov N.P., Alexandrova G.P., Sukhov B.G. Biological activity and safety for the environment of selenium nanoparticles encapsulated in starch macromolecules. *Nanotechnologies in Russia*, 2020, vol. 15, no. 1, pp. 96-104. <https://doi.org/10.1134/S1995078020010152>
- Blokhina O., Virolainen E., Fagersted K.V. Antioxidants, oxidative stress and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of Botany*, 2001, vol. 91, pp. 179-194. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf118>
- Chen F., Huang G. Preparation and immunological activity of polysaccharides and their derivatives. *Int. J. Biol. Macromol.*, 2018, vol. 112, pp. 211-216. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.169>
- Martinez-Rubio R., Acebes J.L., Encina A., Kärkönen A. Class III peroxidases in cellulose deficient cultured maize cells during cell wall remodeling. *Physiol. Plant.*, 2018, vol. 164, pp. 45-55. <https://doi.org/10.1111/ppl.12710>
- Perfileva A.I., Moty'leva S.M., Klimenkov I.V., Graskova I.A., Sukhov B.G., Trofimov B.A. Development of antimicrobial nano-selenium biocomposite for protecting potatoes from bacterial phytopathogens. *Nanotechnologies in Russia*, 2017, vol. 12, no. 9-10, pp. 553-558. <https://doi.org/10.1134/S1995078017050093>
- Hussein H.A., Darwesh O.M., Mekki B.B., El-Hallouty S.M. Evaluation of cytotoxicity, biochemical profile and yield components of groundnut plants treated with nano-selenium. *Biotechnol. Rep. (Amst)*, 2019, vol. 12, no. 24, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00377>
- Kaur G., Singh H.P., Batish D.R., Mahajan P., Kohli R.K., Rishi V. Exogenous nitric oxide (NO) interferes with lead (Pb)-induced toxicity by detoxifying reactive oxygen species in hydroponically grown wheat (*Triticum aestivum*) roots. *PLoS ONE*, 2015, vol. 10, pp. e0138713. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138713>
- Perfileva A.I., Tsvileva O.M., Nozhkina O.A., Karepova M.S., Graskova I.A., Ganenko T.V., Sukhov B.G., Krutovsky K.V. Effect of natural polysaccharide matrix-based selenium nanocomposites on phytophthora cactorum and rhizospheric microorganisms. *Nanomaterials*, 2021, vol. 11, no. 9. <https://doi.org/10.3390/nano11092274>
- Fichman Y., Mittler R. Rapid systemic signaling during abiotic and biotic stresses: is the ROS wave master of all trades? *Plant J.*, 2020, vol. 102, no. 5, pp. 887-896. <https://doi.org/10.1111/tbj.14685>

Bailly C., Benamar A., Corbineau F., Côme D. Free radical scavenging as affected by accelerated ageing and subsequent priming in sunflower seeds. *Physiol. Plant.*, 1998, vol. 104, pp. 646-652. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1040418.x>

Nurminsky V.N., Perfileva A.I., Kapustina I.S., Graskova I.A., Sukhov B.G., Trofimov B.A. Growth-stimulating activity of natural polymer-based nanocomposites of selenium during the germination of cultivated plant seeds. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 2020, vol. 495, pp. 296-299. <https://doi.org/10.1134/S1607672920060113>

He X., Deng H., Hwang H.M. The current application of nanotechnology in food and agriculture. *J. Food Drug Anal.*, 2019, vol. 27, no. 1, pp. 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.12.002>

Heath R.L., Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives Biochem. Biophys.*, 1968, vol. 125, pp. 189-198. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)

Kidwai M., Ahmad I.Z., Chakrabarty D. Class III peroxidase: an indispensable enzyme for biotic/abiotic stress tolerance and a potent candidate for crop improvement. *Plant Cell Rep.*, 2020, vol. 39, no. 11, pp. 1381-1393. <https://doi.org/10.1007/s00299-020-02588-y>

Lanza M. G. D. B., dos Reis A. R. Roles of selenium in mineral plant nutrition: ROS scavenging responses against abiotic stresses. *Plant Physiol. Biochem.*, 2021, vol. 164, pp. 27-43. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.04.026>

Mittler R. ROS are good. *Trends Plant Sci.*, 2017, vol. 22, pp. 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.08.002>

Nadarajah K.K. ROS homeostasis in abiotic stress tolerance in plants. *Int. J. Mol. Sci.*, 2020, vol. 21, no. 15, pp. 5208. <https://doi.org/10.3390/ijms21155208>

Raliya R., Saharan V., Dimkpa C., Biswas P. Nanofertilizer for precision and sustainable agriculture: current state and future perspectives. *J. Agric. Food Chem.*, 2018, vol. 5, no. 66 (26), pp. 6487-6503. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02178>

Prasad R., Bhattacharyya A., Nguyen Q.D. Nanotechnology in sustainable agriculture: recent developments, challenges, and perspectives. *Front. Microbiol.*, 2017, vol. 20, no. 8, pp. 1014. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01014>

Vo K.T.X., Rahman M.M., Rahman M.M., Trinh K.T.T., Kim S.T., Jeon J.S. Proteomics and metabolomics studies on the biotic stress responses of rice: an update. *Rice*, 2021, vol. 14, pp. 30. <https://doi.org/10.1186/s12284-021-00461-4>

Rajput V.D., Harish, Singh R.K., Verma K.K., Sharma L., Quiroz-Figueroa F.R., Meena M., Gour V.S., Minkina T., Sushkova S., Mandzhieva S. Recent developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress. *Biology (Basel)*, 2021, vol. 10, no. 4, pp. 267. <https://doi.org/10.3390/biology10040267>

Kim D.Y., Kadam A., Shinde S., Saratale R.G., Patra J., Ghodake G. Recent developments in nanotechnology transforming the agricultural sector: a transition replete with opportunities. *J. Sci. Food Agric.*, 2018, vol. 98, no. 3, pp. 849-864. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8749>

Hasanuzzaman M., Bhuyan M.H.M.B., Parvin K., Bhuiyan T.F., Anee T.I., Nahar K., Hossen M.S., Zulfiqar F., Alam M.M., Fujita M. Regulation of ROS metabolism in plants under environmental stress: A review of recent experimental evidence. *Int. J. Mol. Sci.*, 2020, vol. 21, no. 22, pp. 8695. <https://doi.org/10.3390/ijms21228695>

Feng T., Chen S.S., Gao D.Q., Liu G.Q., Bai H.X., Li A., Peng L.X., Ren Z.Y. Selenium improves photosynthesis and protects photosystem II in pear (*Pyrus bretschneideri*), grape (*Vitis vinifera*), and peach (*Prunus persica*). *Photosynthetica*, 2015, vol. 53, pp. 609-612. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0118-1>

Perfileva A.I., Nozhkina O.A., Graskova I.A., Dyakova A.V., Pavlova A.G., Aleksandrova G.P., Klimenkov I.V., Sukhov B.G., Trofimov B.A. Selenium nanocomposites having polysaccharid matrices stimulate growth of potato plants in vitro infected with ring rot pathogen. *Dokl. Biol. Sci.*, 2019, vol. 489, pp. 184-188. <https://doi.org/10.1134/S0012496619060073>

Sotoodehnia-Korani S., Iranbakhsh A., Ebadi M., Majd A., Ardebili Z.O. Selenium nanoparticles induced variations in growth, morphology, anatomy, biochemistry, gene expression, and epigenetic DNA methylation in *Capsicum annuum*; an in vitro study. *Environ. Pollut.*, 2020, vol. 265 (Pt B):114727. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114727>

Perfileva A.I., Nozhkina O.A., Graskova I.A., Sidorov A.V., Lesnichaya M.V., Aleksandrova G.P., Dolmaa G., Klimentov I.V., Sukhov B.G. Synthesis of selenium and silver nanobiocomposites and their influence on phytopathogenic bacterium *Clavibacter michiganensis* subsp. *Sepedonicus*. *Russian Chemical Bulletin*, 2018, vol. 67, no. 1, pp. 157-163. <https://doi.org/10.1007/s11172-018-2052-4>

Nozhkina O.A., Perfileva A.I., Graskova I.A., Djyakova A.V., Nurminsky V.N., Klimentov I.V., Ganenko T.V., Borodina T.N., Aleksandrova G.P., Sukhov B.G., Trofimov B.A. The biological activity of a selenium nanocomposite encapsulated with carrageenan macromolecules regarding the ring rot pathogen and potato plants. *Nanotechnologies in Russia*, 2019, vol. 14, no. 5-6, pp. 255-262. <https://doi.org/10.1134/S1995078019030091>

Ardebili Z.O., Ardebili N.O., Jalili S., Safiallah S. The modified qualities of basil plants by selenium and/or ascorbic acid. *Turk. J. Bot.*, 2015, vol. 39, pp. 401-407. <https://doi.org/10.3906/bot-1404-20>

Romanenko A.S., Riffel A.A., Graskova I.A., Rachenko M.A. The role of extracellular pH-homeostasis in potato resistance to ring-rot pathogen. *J. Phytopathol.*, 1999, vol. 147, no. 11-12, pp. 679-686. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0434.1999.00450.x>

White P.J. Selenium metabolism in plants. *Biochim. Biophys. Acta Gen. Subj.*, 2018, vol. 1862, no. 11, pp. 2333-2342. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2018.05.006>

Ножкина Ольга Александровна
ведущий инженер
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 132
e-mail: smallolga@mail.ru

Nozhkina Olga Aleksandrovna
Lead Engineer
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: smallolga@mail.ru

Перфильева Алла Иннокентьевна
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 132
e-mail: alla.light@mail.ru

Perfileva Alla Innokent'evna
Candidate of Science (Biology),
Senior Research Scientist
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: alla.light@mail.ru

Забанова Наталья Сергеевна
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 132
доцент
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: pavnatser@mail.ru

Zabanova Natalya Sergeevna
Candidate of Science (Biology),
Senior Research Scientist
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
Assistant Professor
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: pavnatser@mail.ru

Ганенко Татьяна Васильевна
кандидат химических наук,
старший научный сотрудник
Иркутский институт химии

Ganenko Tatjana Vasilevna
Candidate of Science (Chemistry),
Senior Research Scientist
A.E. Favorsky Irkutsk Institute

*им. А. Е. Фаворского СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Фаворского, 1
e-mail: ganenko@irioch.irk.ru*

*of Chemistry SB RAS
1, Favorsky st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: ganenko@irioch.irk.ru*

*Нечаев Никита Игоревич
магистрант
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: watson.kot@yandex.ru*

*Nechaev Nikita Igorevich
Master's Student
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: watson.kot@yandex.ru*

*Третьякова Анастасия Валерьевна
кандидат биологических наук,
доцент
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: anastasiya_chepi@mail.ru*

*Tretyakova Anastasia Valeryevna
Candidate of Science (Biology),
Assistant Professor
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: anastasiya_chepi@mail.ru*

*Граскова Ирина Алексеевна
доктор биологических наук,
главный научный сотрудник
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 132
e-mail: graskova@sifibr.irk.ru*

*Graskova Irina Alekseevna
Doctor of Sciences (Biology),
Chief Research Scientist
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: graskova@sifibr.irk.ru*

Дата поступления: 28.06.2021
Received: June, 28, 2021