

На правах рукописи

УДК 631.811:635.1

Чурилова Вероника Вячеславовна

**ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ МЕДИ В КАЧЕСТВЕ
МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО УДОБРЕНИЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ
СВЕКЛЫ И МОРКОВИ**

Специальность 06.01.04 – агрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»

**Научный
руководитель:
Официальные
оппоненты:**

Полищук Светлана Дмитриевна,
доктор технических наук, профессор
Старовойтова Оксана Анатольевна,
доктор сельскохозяйственных наук, ФГБНУ
«Федеральный исследовательский центр
картофеля имени А.Г. Лорха», отдел
технологии и инновационных проектов,
главный научный сотрудник

Колесникова Елена Олеговна,
кандидат биологических наук, селекционно-
генетический центр ООО «СоюзСемСвекла»,
отдел биотехнологии, руководитель отдела

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится «15» сентября 2022 года в 14.00 час. на заседании диссертационного совета Д 006.029.01 при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а и на сайте:

https://www.vniia-pr.ru/upload/iblock/f12/churilova_diss_07_06_2022.pdf

Автореферат разослан «_____» _____ 2022 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31 а, учёному секретарю диссертационного совета, e-mail: dissovet_vniia@mail.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета

Никитина Любовь Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Микроэлементы необходимая часть биологически активных соединений. Они входят в состав белков, витаминов, ферментов и играют важную роль в стимуляции роста и развития растений, выполняя различные физиологические и биологические функции (Битюцкий Н.П. 2005; Анспок П.И., 1990; Дмитриев, А.Д., 2018). Поиск новых форм их выражения – задача актуальная. Классическое применение микроэлементов в виде солей ограничено опасностью загрязнения окружающей среды. Альтернативой могут выступать ультрадисперсные порошки (наночастицы) металлов и их соединений (Чурилов, Г. И., 2009; Чурилов Д.Г., Назарова А.А. в соавт., 2012; Сушилина М.М., 2004; Иваннычева Ю.Н., 2012; Зорин Е.В., 2001).

В работе рассматривается вариант применения наночастиц меди, оксида меди и нанокompозита меди для однократной предпосевной обработки семян овощных культур в качестве микроэлементного удобрения. Наночастицы на основе меди выбраны, так как медь и её соединения принимают активное участие в построении необходимых белков и ферментов, а также в процессах роста и развития клеток, тканей, растений (Богословская О.А., Глущенко Н.Н., 2007; Битюцкий Н.П., 2005; Дмитриев А.Д., 2018, Окунцов М.М., 1949).

Цель и задачи исследований. Цель исследований - изучение влияния и оценка эффективности использования наночастиц на основе меди разных физико-химических свойств при выращивании свеклы и моркови на серой лесной почве.

Для реализации поставленной цели предстояло решить следующие задачи:

1. Изучить биологическую активность наночастиц на основе меди в зависимости от строения, размеров и концентрации на кормовой, столовой свекле и моркови в лабораторных условиях.

2. Исследовать наиболее действенные концентрации наночастиц для оценки урожайности и качества корнеплодов в полевых условиях.
3. Определить изменение содержания металлов в почве при выращивании свеклы и моркови с применением исследуемых препаратов.
4. Исследовать содержание меди в культурах в процессе роста после предпосевной обработки семян изучаемыми препаратами.

Научная новизна. Разработан и запатентован экспериментальный образец нанокompозита, состоящий из наночастиц меди и водорастворимых полисахаридов. В ходе лабораторных и полевых исследований показано, что нанокompозит обладает более высокой активностью в сравнении с наночастицами меди и оксида меди на семенах кормовой, столовой свеклы и моркови. Отмечалось увеличение энергии прорастания и лабораторной всхожести, в зависимости от культуры на 21,2% – 28,2%. В полевых исследованиях на серой лесной почве урожайность корнеплодов при применении нанокompозита составила на 12,1% - 28,4% выше контроля. Применение наночастиц меди и наночастиц оксида меди оказали меньшее влияние, прибавка составила соответственно 11,3%-16,1% и 2,2% - 12,3% в зависимости от культуры.

Практическая значимость работы включает обоснование эффективности применения наночастиц на основе меди при возделывании кормовой, столовой свеклы и моркови на серой лесной почве, обеспечивающих увеличение урожайности и качества культур. Данные проведенных исследований могут быть использованы в качестве результата регистрационных испытаний.

Основные положения, выносимые на защиту:

- биологическая активность воздействия наночастиц меди, оксида меди и нанокompозита на рост и развитие семян и проростков свеклы и моркови;
- урожайность и качество корнеплодов после предпосевной обработки семян наночастицами;

- анализ содержания металлов в почвенных образцах опытного поля;
- содержание меди в культурах в процессе роста после предпосевной обработки семян изучаемыми препаратами.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертационной работы были представлены на следующих научных конференциях: IV Международная научно-практическая конференция «Наноматериалы и живые системы», 2016, Москва; Национальная научно-практическая конференция «Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России», ФГБОУ ВО РГАТУ, 2016, Рязань; 68-ая Международная научно-практическая конференция «Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве», ФГБОУ ВО РГАТУ 2017, Рязань; 69-ая Международная научно-практическая конференция «Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса», ФГБОУ ВО РГАТУ, 2018, Рязань; IX Ежегодная Конференция Нанотехнологического общества России, НИТУ МИСИС, 2018, Москва; Юбилейная национальная научно-практическая конференция «Потенциал науки и современного образования в решении приоритетных задач АПК и лесного хозяйства», ФГБОУ ВО РГАТУ, 2019, Рязань; Научно-практическая конференция «Современные биотехнологии: от теории к коммерческому продукту», 2019, Тамбов и другие.

По теме диссертации опубликовано 12 статей, их них 3 в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 5 опубликованных статей, входящих в базу Scopus, патент на изобретение №2735268 «Средство для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных растений и способ его применения».

Личный вклад автора. Автор участвовала в разработке программы исследований, постановке цели и задач к работе. Проведение лабораторных и полевых опытов, анализ и статистическая обработка

полученных результатов, изложение полученного экспериментального материала в диссертации осуществлялось также непосредственно автором. Соискателем были подготовлены и опубликованы научные статьи, результаты исследований докладывались на конференциях, получен патент на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложений на 134 страницах. Она включает 28 таблиц, 38 рисунков, 9 приложений. Список использованной литературы содержит 177 источника, 43 из которых зарубежных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Обзор литературы

В обзоре проанализировано влияние микроэлементов на рост и развитие сельскохозяйственных культур, рассмотрена биологическая роль оксидов и наночастиц металлов, а также эколого-биологические аспекты действия наночастиц, изложены характеристика и биологические особенности кормовой, столовой свеклы и моркови. В главе уделяется внимание композитам техногенных наночастиц и природных биополимеров (нанокомпозит).

Глава 2. Объект и методика исследования

Объекты исследований. Для проведения лабораторных и полевых исследований были выбраны кормовая свекла «Эккендорфская желтая», столовая свекла «Детройт» и морковь «Нантская 4».

Исследуемые наночастицы меди и наночастицы оксида меди были получены в ФГАОУ ВО Национальный исследовательский технологический университет МИСиС химическим методом путем

осаждения гидроксидов металлов из растворов солей с последующим их восстановлением в водородном потоке при низких температурах.

Нанокompозит разработан нами (патент на изобретение), включающий в себя наночастицы меди и, в качестве природного полимера, полисахарид, выделенный из горца птичьего.

Почвенно-климатические условия.

Полевые исследования проводились в 2016-2018 гг. в УНИЦ «Агротехнопарк» при ФГБОУ ВО РГАТУ. Учебно-научный центр располагается на территории Рязанской области. Климат в Рязанской области находится в умеренно-континентальной зоне, где умеренно-холодная зима и довольно теплое лето. Данные климатических показателей Рязанской области за 2016-2018 годы сформированы на основе данных статистики Рязанской метеорологической станции. В 2016-2017 гг проведения полевых опытов погодные условия соответствовали климатической норме, а отдельные колебания среднесуточной температуры воздуха и количества атмосферных осадков в целом не оказали существенного воздействия на растения. 2018 год в сравнении с предыдущими годами характеризуется меньшим количеством осадков.

Почвы учебно-научного инновационного центра «Агротехнопарк» серые лесные. Показатели почвы за 3 года исследований имели следующую характеристику: плотность 1,1-1,2 г/см, реакция почвенного раствора слабокислая рН - 5,0 - 5,2, наличие гумуса в пахотном слое 3,2 %, содержание фосфора подвижного 180-195 мг/кг почвы и калия 113 – 128 мг/кг, гидролитическая кислотность – 5,4-5,7 мг-экв на 100 г, сумма поглощенных оснований – 20,8 ммоль/100 г.

Лабораторные исследования проходили в лаборатории научно-исследовательского центра при ФГБОУ ВО РГАТУ «Наноцентр для АПК». В качестве контроля использовали дистиллированную воду. В качестве исследуемых образцов использовали суспензии наночастиц меди,

наночастиц оксида меди, растворы нанокompозита в концентрациях 0,01; 0,025; 0,05; 0,1; 0,5; 1; 5; 10; 25; 50 г/кг.

В чашках Петри раскладывали на двухслойную фильтровальную бумагу, увлажненную водой семена исследуемых культур, которые в течение 30 минут были замочены в различных концентрациях исследуемых препаратов. В одной чашке Петри размещалась 1 проба семян в количестве 50 шт. Повторность четырехкратная

Отбор образцов семян осуществляли по ГОСТ 12037-81 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения чистоты и отхода семян». В соответствии с ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести и энергии прорастания» и ГОСТ 22617.2 – 94 «Семена сахарной свеклы. Методы определения всхожести, однородности и доброкачественности» проводили оценку всхожести и энергию прорастания семян свеклы и моркови.

Полевые исследования проводили по следующей схеме:

Вариант 1 (контроль) – семена перед посевом опрыскивались дистиллированной водой.

Вариант 2 - семена опрыскивались перед посевом суспензией с наночастицами меди (расход действующего вещества 0,05 г /кг);

Вариант 3 - семена опрыскивались перед посевом суспензией с наночастицами меди (расход действующего вещества 0,1 г/кг);

Вариант 4 - семена опрыскивались перед посевом суспензией с наночастицами оксида меди (расход действующего вещества 0,05 г /кг);

Вариант 5 - семена опрыскивались перед посевом суспензией с наночастицами оксида меди (расход действующего вещества 0,1 г/кг);

Вариант 6 - семена опрыскивались перед посевом суспензией нанокompозита меди (расход действующего вещества 0,05 г /кг).

Вариант 7 - семена опрыскивались перед посевом суспензией нанокompозита меди (расход действующего вещества 0,1 г/кг).

Схема расположения делянок представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Наглядная схема опыта (4-кратная повторность)

Повторность опыта	Варианты расположения						
I	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
II	B6	B7	B1	B2	B3	B4	B5
III	B4	B5	B6	B7	B1	B2	B3
IV	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B1

Агротехника выращивания общепринятая для данных культур и региона.

Методы исследований. Анализы растений и почвы проводили в соответствии с действующими ГОСТами. Содержание гумуса в почве определяли по ГОСТ 26213-91 «Почвы. Методы определения органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО», pH_{KCl} потенциметрически ГОСТ 26483-85 «Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО», гидролитическую кислотность по ГОСТ 26212-91 «Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО», сумма поглощенных оснований ГОСТ 27821-88 «Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена». Определение подвижных форм микроэлементов определяли по ГОСТ Р 50684-94 «Определение подвижных соединений меди по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО», ГОСТ Р 54650-2011 «Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО», химический состав ГОСТ 33850-2016 «Почвы. Определение химического состава методом рентгенофлуоресцентной спектromетрии». В растительных образцах наличие меди определяли ГОСТ 33824-2016 «Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка)».

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с

помощью программ Statistica и Microsoft Office Excel. Для формирования выборки экспериментального материала по морфологическим параметрам брали не менее чем 25 наблюдений. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$, а также использовали показатель наименьшей существенной разницы при 5% уровне значимости ($НСР_{05}$).

Глава 3. Результаты исследований

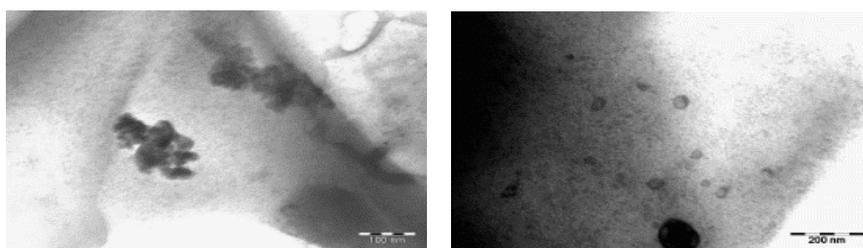
Биологическая активность наночастиц на основе меди в зависимости от размеров и строения

Высокая биологическая активность зафиксирована при низких концентрациях для наночастиц размером 20 нм. Повышение энергии прорастания вызывали концентрации 0,01 г/кг, а лабораторная всхожесть максимально превышала контроль при 0,025 г/кг. Первые, в концентрации 0,01 г/кг повысили относительно контроля энергию прорастания на 16 – 20%; всхожесть – на 4 – 6%, а длина ростков и корешков возросла на 41% – 68%. Однако, при дальнейшем увеличении концентрации зависимость перестала проявляться, а концентрация 1 г/кг вызывала угнетение развития растений, все показатели были ниже контроля. Для наночастиц меди при размере частиц 30-60 нм наиболее ярко проявлялся эффект «малых доз». Энергия прорастания увеличилась на 8 – 14%, длина ростков на 37% – 40%, корешков на 18 – 25%. Биологическая активность наночастиц размером 100 нм и выше низкая и практически не зависела от концентрации. Электронно-микроскопический анализ, осуществленный с помощью просвечивающего электронного микроскопа «JEOL» «JEM-1400», показал наличие частиц размером более 100 нм, сконцентрированных за счет своих выраженных адгезионных свойств на поверхности растений, обработанных коллоидными суспензиями наночастиц.



Рисунок 1. Электронно-микроскопическое изображение наночастиц на поверхности столовой свеклы через 10 дней после обработки НЧ меди размером 100 нм

Наночастицы оксида меди обладают способностью проникать как в ростки, так и корешки и накапливаться в структуре растений, что может тормозить процессы роста и развития. Электронно-микроскопические исследования позволили обнаружить их накопление в проростках столовой свеклы (рисунок 2).



а)

б)

Рисунок 2. Фотографии корешков (а) и ростков (б) пророщенной столовой свеклы с видимыми включениями наночастиц оксида меди 10 г/кг

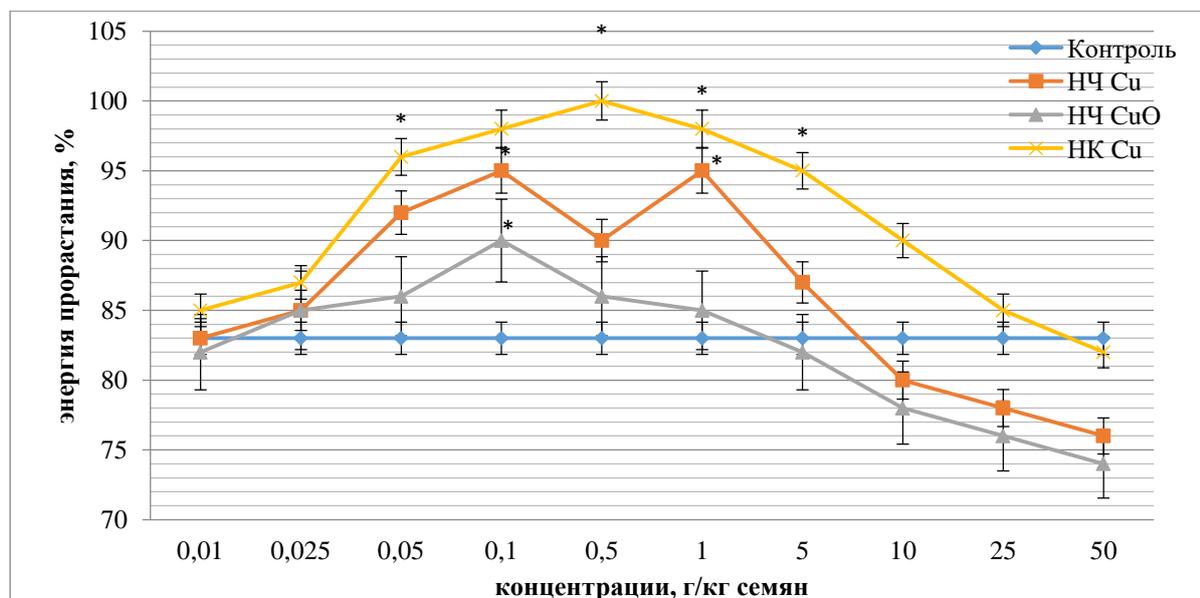
Наноконпозиты хорошо растворимы, за счет присутствия природных биополимеров. Они обладают биосовместимостью, легко проникают через мембраны клеток, не задерживаются и не накапливаются в нативном виде.

Влияние наночастиц на основе меди размером 30-60 нм в зависимости от концентрации на морфофизиологические показатели проростков

Проведенные лабораторные исследования в широком диапазоне концентраций 0,01 г/кг – 50 г/кг показали колебательный характер величины энергии прорастания семян в зависимости от их концентраций.

На рисунке 3 показано влияние концентраций на энергию прорастания на примере кормовой свеклы «Эккендорфская желтая».

Для нанокompозита энергия прорастания при всех концентрациях выше, чем для наночастиц меди и оксида меди и практически одинаковая до концентрации 5 г/кг.



Примечание: * – достоверные различия по сравнению с контролем ($p < 0,05$)

Рисунок 3. Энергия прорастания семян кормовой свеклы под действием НЧ меди, оксида меди и НК размером 30-60 нм, %

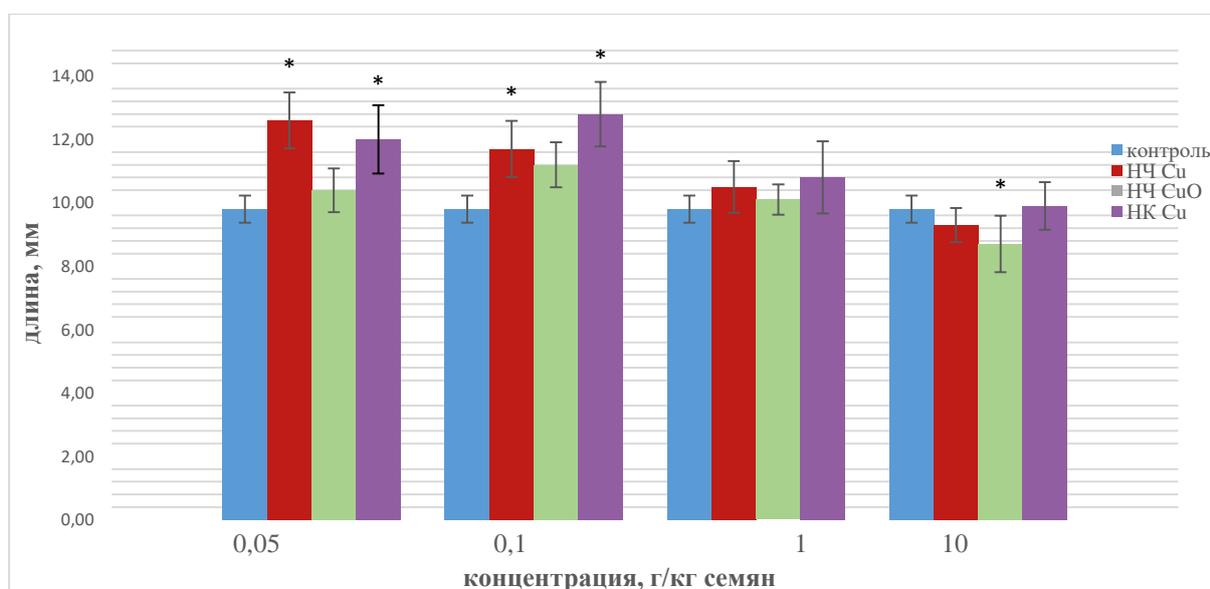
Действенными концентрациями наночастиц меди при определении морфофизиологических показателей в широком диапазоне концентраций стали 0,05 - 0,1 г/кг (первая волна роста активности) и 0,5 - 1,0 г/кг (вторая волна). Для всех культур более эффективными были концентрации, соответствующие первой волне.

Повторные лабораторные исследования в узком диапазоне 0,05-10 г/кг показали, что высокой биологической активностью обладал нанокompозит (НК) до 1 г/кг, всхожесть семян оставалась высокой не зависимо от концентрации НК, а при 10 г/кг соответствовала контролю. Анализ длины ростков кормовой свеклы «Эккендорфская желтая» показал, что изменения происходят волнообразно: первый скачок длины ростка для наночастиц

меди наблюдался при 0,05 г/кг (+23,6%), второй при 0,1 г/кг (+21,8 %), то есть максимум показателя зафиксирован в интервале 0,05 г/кг - 0,1 г/кг. Результаты определения длины ростков кормовой свеклы для нанокompозита показали также пики максимума при концентрациях 0,05 г/кг, 0,1 г/кг (+27,2% ; +25,4%). В вариантах с оксидом меди длина ростков и корешков была меньше при всех концентрациях до 1 г/кг, но не ниже контроля, кроме концентрации 10 г/кг, здесь показатели были ниже контрольных на 30,0%. Эти закономерности прослеживаются и для показателей столовой свеклы «Детройт» и моркови «Нантская 4».

График роста длины и массы ростков моркови «Нантская 4» (рисунок 4) наиболее демонстративен при начальных концентрациях от 0,05 до 0,1 г/кг, а при 1,0 г/кг эта зависимость резко пропадает, и при повышении дозы этот показатель если и изменяется, то незначительно.

Длина корешков моркови «Нантская 4» для наночастиц меди в концентрации 0,05 г/кг была выше на 18,5%, для нанокompозита – 24,4%. Длина ростков - 28,5% и 22,4% соответственно. При концентрации НЧ меди 0,1 г/кг – 19,3%, а нанокompозит увеличил длину ростков на 30,6%.



Примечание: * – достоверные различия по сравнению с контролем ($p < 0,05$)

Рисунок 4. Длина ростков моркови «Нантская 4», семена которой обработаны наночастицами меди, оксидом меди, нанокompозитом, мм

Зависимость массы ростков столовой свеклы «Детройт» от повышения дозы наночастиц меди «куполообразная», причем пик массы (+63%) приходится на концентрацию 0,05 г/кг и 0,1 г/кг (+65%). Для корешков при концентрации 0,05 г/кг масса повысилась на 43%, при концентрации 0,1 г/кг на 50%.

Элементный анализ проростков исследуемых растений

Элементный анализ образца гомогената проростков растений, выполненный на сканирующем электронном микроскопе, в контрольной группе и в группе экспонированной наночастицами меди размером 30-60 нм, не определяет в тканях накопление меди. В соотношении содержания остальных элементов отклонений от контрольных значений также не зафиксировано (рисунок 5).

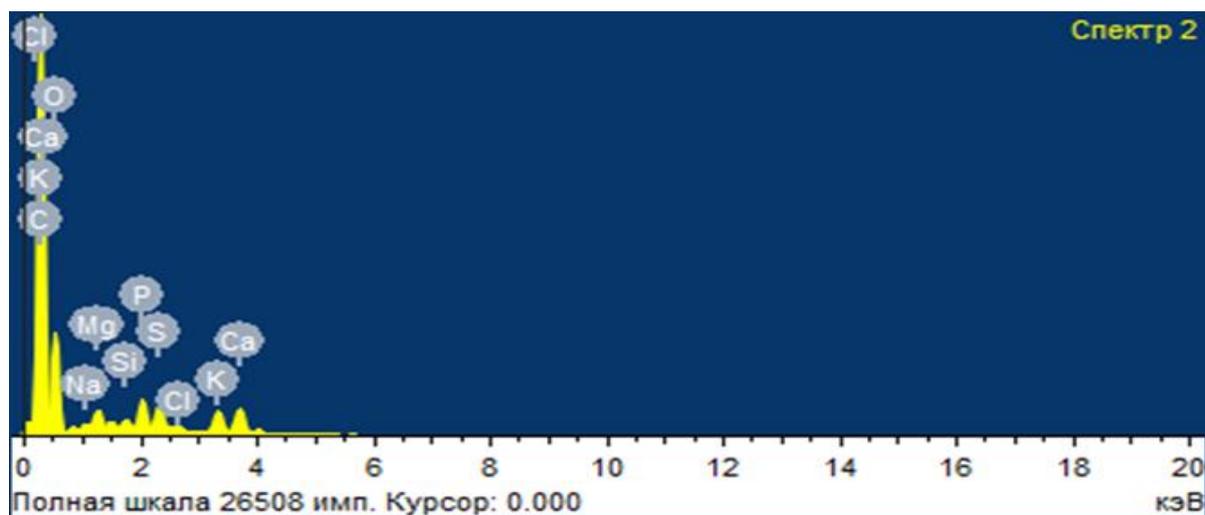


Рисунок 5. Анализ распределения элементов в тканях проростков моркови, обработанной НЧ меди 0,1 г/кг

По-другому представлены спектры распределения элементов в тканях проростков культур после 10-и дневного их контакта с суспензиями НЧ оксида меди (рисунок 6).

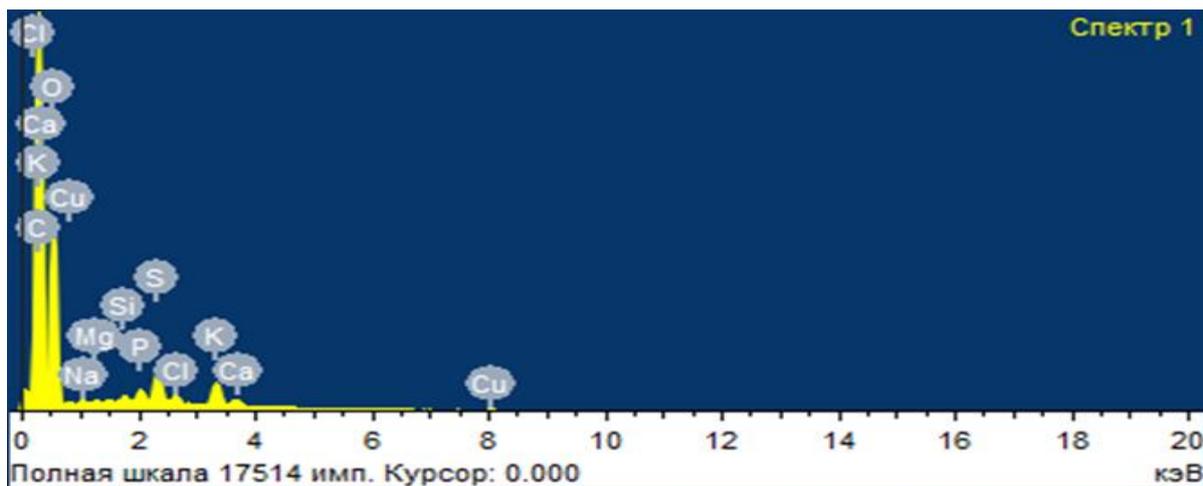


Рисунок 6. Анализ распределения элементов в тканях проростков моркови после контакта с НЧ оксида меди 0,1 г/кг

На диаграммах имеются характерные для Cu пики, что определяет в тканях накопление меди в небольших количествах.

Влияние наночастиц на основе меди на урожайность и качество кормовой, столовой свеклы и моркови

При обработке суспензией наночастиц оксида меди урожайность корнеплодов кормовой свеклы «Эккендорфская желтая» была выше контроля максимально на 7,8% при 0,1 г/кг в 2017 году (таблица 2).

Таблица 2 - Урожайность корнеплодов кормовой свеклы «Эккендорфская желтая» с применением НЧ Cu, НЧ CuO, НК Cu, т/га

№	Варианты	Урожайность, т/га				
		2016 год	2017 год	2018 год	среднее за 2016-2018 гг	
					т/га	% к контролю
1.	Контроль	95,8	96,1	95,2	95,7	-
2.	НЧ Cu 0,05 г/кг	106,7	110,0	109,1	108,6	13,4
3.	НЧ Cu 0,1 г/кг	109,3	109,8	110,6	109,9	14,8
4.	НЧ CuO 0,05 г/кг	101,4	100,4	102,1	101,3	5,8
5.	НЧ CuO 0,1 г/кг	102,3	103,6	102,2	102,7	7,3
6.	НК Cu 0,05 г/кг	109,5	107,2	110,9	109,2	14,1
7.	НК Cu 0,1 г/кг	110,7	110,2	110,6	110,5	15,4
НСР ₀₅		1,05	1,46	2,35	-	-

Наибольшее увеличение урожайности при использовании НК меди в концентрации 0,05 и 0,1 г/кг в 2018 г (+ 16,4 % и +16,1% соответственно). НЧ меди также оказали положительное влияние - прибавка составила от 11,3% в 2016 году при концентрации 0,05 г/кг до 16,1% в 2018 году при концентрации 0,1 г/кг.

Количество сухого вещества в корнеплодах кормовой свеклы увеличилось максимально на 32,5 % в 2018 году при использовании НК в концентрации 0,1 г/кг. Сумма сахаров также во всех вариантах была выше контроля для НЧ меди 0,05 г/кг и 0,1 г/кг +20,5% +22,8% соответственно. НЧ оксида меди в меньшей степени увеличили содержание сахаров в корнеплодах кормовой свеклы максимально при 0,1 г/кг +9,8%. НК увеличил накопление сахаров при 0,05 г/кг +27,2% при 0,1 г/кг +28,9%.

При применении НК урожайность корнеплодов столовой свеклы «Детройт» максимально превышала контроль на 28,4% в 2018 году в концентрации 0,1 г/кг (таблица 3).

Таблица 3 - Урожайность корнеплодов свеклы столовой «Детройт» с применением НЧ Cu, НЧ CuO, НК Cu, т/га

№	Варианты	Урожайность, т/га				
		2016 год	2017 год	2018 год	среднее за 2016-2018 гг	
					т/га	% к контролю
1.	Контроль	35,3	34,9	35,8	35,3	-
2.	НЧ Cu 0,05 г/кг	39,7	39,9	40,4	40,0	13,3
3.	НЧ Cu 0,1 г/кг	40,2	39,5	39,9	39,8	12,7
4.	НЧ CuO 0,05 г/кг	36,1	36,5	36,8	36,4	3,1
5.	НЧ CuO 0,1 г/кг	36,7	35,9	36,1	36,2	2,5
6.	НК Cu 0,05 г/кг	41,5	42,2	44,3	42,6	20,6
7.	НК Cu 0,1 г/кг	42,3	44,8	46,0	44,3	25,4
	НСР ₀₅	2,36	3,40	3,22	-	-

Выход корнеплодов при применении наночастиц оксида меди максимально составил на 4,5 % больше относительно контроля в 2017 году при концентрации 0,05 г/кг. При использовании НЧ меди увеличение

урожайности корнеплодов было достоверно выше контроля на 14,3% в 2017 году при концентрации 0,05 г/кг.

Использование НЧ способствовало изменению химического состава корнеплодов столовой свеклы «Детройт». Все наночастицы, содержащие медь, увеличивают содержание витаминов в изучаемом интервале концентраций, максимальное действие показала обработка семян НК меди + 15,2% (0,01 г/кг) и +14,1 (0,05 г/кг). Наночастицы оксида меди в интервале концентраций 0,05-0,1 г/кг увеличили количество сухого вещества до 8% и 9,9%; для НЧ меди + 19,4% и для НК до 20,3%

В вариантах с НЧ меди выход корнеплодов моркови «Нантская 4» максимально составил на 16,7 % больше относительно контроля в 2016 году при концентрации 0,05 г/кг, при концентрации 0,1 г/кг на 15,7 % в 2017 году (таблица 4).

Таблица 4 - Урожайность корнеплодов моркови «Нантская 4» с применением НЧ Cu, НЧ CuO, НК Cu, т/га

№	Варианты	Урожайность, т/га				
		2016 год	2017 год	2018 год	среднее за 2016-2018 гг	
					т/га	% к контролю
1.	Контроль	36,4	36,2	36,7	36,4	-
2.	НЧ Cu 0,05 г/кг	42,5	41,3	42,5	42,1	15,6
3.	НЧ Cu 0,1 г/кг	42,0	41,9	41,4	41,7	14,5
4.	НЧ CuO 0,05 г/кг	40,9	38,8	38,3	39,3	7,9
5.	НЧ CuO 0,1 г/кг	39,0	40,5	38,9	39,5	8,5
6.	НК Cu 0,05 г/кг	43,7	42,6	45,1	43,8	20,3
7.	НК Cu 0,1 г/кг	44,0	43,2	45,3	44,1	21,1
НСР ₀₅		2,51	2,20	2,58	-	-

Наночастицы оксида меди были менее эффективны, прибавка составила максимально на 12,3% в 2016 году при концентрации 0,05 г/кг. Наиболее высокие показатели отмечались после обработки семян раствором нанокompозита меди - на 23,4 % выше контроля.

При применении НЧ меди увеличилось содержание сухого вещества в моркови на 17-21%, а при контакте с НК на 15-24%. Под действием НЧ и НК значительно увеличилось и содержание каротина от 8,9% до 12,6% и витамина Е от 2,2% - НЧ CuO до 16,6% для НЧ меди.

Глава 4. Влияние наночастиц на основе меди на содержание металлов в серой лесной почве и культурах

В 2017, 2018 гг было проведено исследование по определению подвижных форм металлов на образцах почвы, отобранных после учета урожая (таблица 5).

Таблица 5 - Содержание подвижных форм тяжелых металлов в серой лесной почве, мг/кг (среднее за 2017-2018 гг)

Вариант	Количество элемента, извлекаемого из почвы ААБ _{pH=4,8} , мг/кг					
	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	Ni
ОДК, ПДК*	3,0	23,0	6,0	-	6,0	4,0
Возделываемая культура: кормовая свекла «Эккендорфская желтая»						
Контроль	2,15	1,43	2,34	0,18	5,12	1,17
НЧ Cu 0,1 г/кг	2,20	1,71	2,18	0,20	4,95	1,08
НЧ CuO 0,1 г/кг	2,19	1,55	2,41	0,22	5,03	1,10
Возделываемая культура: столовая свекла «Детройт»						
Контроль	1,18	1,47	2,06	0,12	5,09	1,15
НЧ Cu 0,1 г/кг	1,20	1,58	1,90	0,11	5,12	1,12
НЧ CuO 0,1 г/кг	1,18	1,71	2,23	0,10	4,86	1,09
Возделываемая культура: Морковь «Нантская 4»						
Контроль	1,22	1,52	1,82	0,11	5,15	1,10
НЧ Cu 0,1 г/кг	1,19	1,46	1,91	0,12	4,98	1,12
НЧ CuO 0,1 г/кг	1,20	1,61	1,88	0,12	5,17	1,15

Примечание: *- ПДК, ОДК в соответствии с ГН 2.1.7.2511-09; ГН 2.1.7.2041-06

Проведенные исследования показали, что предпосевная обработка семян наночастицами меди, а также его оксида не оказала существенного влияния на подвижность тяжелых металлов в почве, в том числе и меди.

В 2017, 2018 году была изучена аккумуляция меди в процессе онтогенеза в зелёной массе и корнеплодах столовой свеклы и моркови,

обработанных наночастицами меди и оксида меди в концентрации 0,1 г/кг. При анализе частей растений в разные фазы роста и развития содержание меди было на уровне контрольных значений, либо укладывалось в диапазон погрешности. Это говорит о том, что вносимые микродозы исследуемых препаратов на основе меди не повлияли на динамику этого химического элемента и не накапливались во время вегетации в растении.

ВЫВОДЫ

1. Лабораторными исследованиями установлено, что биологическая эффективность действия наночастиц существенно зависит от их размера и концентрации. Наночастицы, имеющие размер 20 нм проявляли биологическую активность при концентрациях 0,01 и 0,02 г/кг. Незначительное увеличение концентрации приводило к угнетению роста и развития проростков семян кормовой, столовой свеклы и моркови. Наночастицы размером 30-60 нм обладали высокой биологической активностью в широком диапазоне концентраций 0,01 – 10 г/кг, не вызывая угнетения роста и развития проростков. Биологическая активность наночастиц меди размером 100 нм и выше, независимо от их концентрации была менее выражена, не оказывая существенного влияния на рост и развитие проростков.
2. В опытах при изучении действия концентраций наночастиц в диапазоне 0,01 – 50 г/кг наблюдался колебательный характер проявления величин морфофизиологических показателей проростков семян (эффект «малых доз») для наночастиц меди и оксида меди. Биологическая активность заметно проявлялась в интервале концентраций 0,05 – 0,1 г/кг и 0,5 – 1 г/кг, при этом более выраженный эффект стимуляции у проростков отмечался в концентрациях 0,05 – 0,1 г/кг.
3. Более высокую активность на начальных стадиях прорастания семян кормовой, столовой свеклы и моркови проявлял нанокompозит меди,

способствуя увеличению энергии прорастания и лабораторной всхожести, в зависимости от культуры соответственно на 21,2 – 28,2%. Максимальное увеличение энергии прорастания семян обеспечивали наночастицы меди 14,1 – 22,5%, наночастицы оксида меди 10,2 – 17,5%,.

4. Электронно-микроскопический анализ распределения элементов в тканях проростков кормовой, столовой свеклы и моркови, экспонированной наночастицами меди размером 30-60 нм в концентрации 0,1 г/кг, не выявил в них содержания меди. Исследования продемонстрировали изменение количественного соотношения макро- и микроэлементов в проростках, семена которых были обработаны наночастицами меди, в результате чего произошло повышение биометрических показателей. Наличие синергетических эффектов у малых доз наночастиц меди к макроэлементам Mg, Na, P, Cl, способствовало увеличению содержания кальция в тканях проростков. Однако, в проростках семян, обработанных наночастицами оксида меди в концентрации 0,1 г/кг, наблюдалось присутствие меди в небольших количествах, что свидетельствует об их накоплении в тканях проростков.
5. Предпосевная обработка семян кормовой свеклы «Эккендорфская желтая» суспензией наночастиц оксида меди в концентрациях 0,05 г/кг и 0,1 г/кг оказала менее выраженное влияние на урожайность, где рост соответственно составил 5,8 - 7,2% и 6,7 – 7,8%, по отношению к контролю. Прибавка урожайности в варианте с наночастицами меди в концентрации 0,05 г/кг и 0,1 г/кг составила соответственно 11,3 - 14,6% и 14,0 – 16,1%. В опытном варианте с нанокompозитом меди урожайность корнеплодов была на 12,1 - 16,4% выше контроля.

6. В варианте с наноккомпозитом меди 0,1 г/кг в кормовой свекле максимально увеличилось количество сухого вещества на 32,5% и сахаров на 28,9%.
7. Активизация биохимических процессов в семенах столовой свеклы сорта «Детройт» под влиянием наночастиц меди в концентрациях 0,05 г/кг и 0,1 г/кг способствовала увеличению урожайности корнеплодов соответственно на 12,4 – 14,3% и 11,4 - 13,8%. Применение наноккомпозита, в тех же концентрациях, вызывало повышение урожайности на 17,5 - 23,7% и 19,8 – 28,4%. В опытном варианте с наночастицами оксида меди рост урожайности составил в зависимости от концентрации 2,2 – 4,5% при 0,05 г/кг и 0,8 – 3,9% при 0,1 г/кг.
8. Предпосевная обработка семян моркови изучаемыми препаратами вызывала увеличение урожайности во всех опытных вариантах. Наиболее высокие прибавки были получены в опытных вариантах с наноккомпозитом меди, которые составили 17,6 – 23,4 %, наночастицами меди – 12,8-15,7% и наночастицами оксида меди – 4,3-12,3%.
9. При применении наночастиц меди увеличилось содержание сухого вещества в моркови на 17-21%, а при контакте с наноккомпозитом на 15-24%, содержание каротина на 8,9% и 12,6% соответственно, витамин Е увеличился на 16,6% в варианте с наночастицами меди.
10. Проведенными исследованиями установлено, что предпосевная обработка семян наночастицами меди, а также наночастицами оксида в максимальной концентрации 0,1 г/кг, не оказали существенного влияния на изменение подвижности тяжелых металлов в почве.
11. Исследованиями содержания меди в вегетирующих растениях столовой свеклы и моркови, сформированными из семян, обработанными наночастицами меди и оксида меди, не выявлено существенного

изменения этих химических элементов в процессе онтогенеза по сравнению с контролем.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в российских рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ:

1. Определение оптимальных концентраций наночастиц кобальта и меди на семенах и проростках овощных культур / О.Ю. Колмыкова, **В.В. Чурилова**, А.А. Назарова, С.Д. Полищук // Плодоводство и ягодоводство России. – 2016. – Т. 47. – С. 175-178.
2. Нанотехнологии работают на урожай / А.А. Назарова, С.Д. Полищук, **В.В. Чурилова**, Ю.В. Доронкин // Картофель и овощи. – 2017. – № 2. – С. 28-30.
3. Влияние физико-химических характеристик наночастиц железа, кобальта, меди на их биологическую активность / Д.Г. Чурилов, А.А. Назарова, **В.В. Чурилова** [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – № 1(41). – С. 89-95.

Публикации в журналах, индексируемых БД Scopus, Web of Science:

4. **Churilova, V.V.** Influence of Biodrugs with Nanoparticles of Ferrum, Cobalt and Cuprum on Growth, Development, Yield and Phytohormone Status of Fodder and Red Beets / V. V. Churilova, A. A. Nazarova, S. D. Polishchuk // Nano Hybrids and Composites. – 2017. – Vol. 13. – P. 149-155. doi.org/10.4028/www.scientific.net/NHC.13.149
5. Plants nutrition and growth stimulation with the help of nanotechnologies / G. I. Churilov, D. G. Churilov, S. N. Borychev, **V. Churilova** [et al.] // International Journal of Engineering and Technology(UAE). – 2018. – Vol. 7. – No 4.36. – P. 231-236.

6. The possibility of using biopreparations based on nanoparticles of biogenic metals in crop production and plant protection / D. Churilov, S. Polischuk, A. Shemyakin, **V. Churilova** [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : International AgroScience Conference, AgroScience 2019, Cheboksary, 01–02 июня 2019 года. – Cheboksary: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012014. – DOI 10.1088/1755-1315/433/1/012014.
7. Influence of the size of nanostructured metals on changes in the functional state of the cell and biological activity / D. Churilov, G. Churilov, S. Polischuk, **V. Churilova** [et al.]// E3S Web of Conferences, Yekaterinburg, 15–16 октября 2020 года. – Yekaterinburg, 2020. – P. 2044. – DOI 10.1051/e3sconf/202022202044.
8. Influence of nanoparticles on soil microflora / D.G. Churilov, G.I. Churilov, **V.V. Churilova** [et al.] // International Journal of Nanotechnology. – 2021. – Vol. 18. – No 9-10. – P. 788-802. – DOI 10.1504/IJNT.2021.118155.

Публикации в других изданиях:

9. **Чурилова, В.В.** Наличие отдаленных токсических эффектов наночастиц металлов и их оксидов в растениеводстве / В.В. Чурилова, С.Д. Полищук, Д.Г. Чурилов // Научные инновации в развитии отраслей АПК: Материалы Международной научно-практической конференции. В 3-х томах, Ижевск, 18–21 февраля 2020 года. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. – С. 95-101.
10. Чурилов, Д.Г. Биохимические показатели воздействия наночастиц на растения / Д.Г. Чурилов, **В.В. Чурилова**, И.В. Обидина // Будущее науки-2020: Сборник научных статей 8-й Международной молодежной научной конференции. В 5-ти томах, Курск, 21–22 апреля 2020 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 382-387.

11. **Чурилова, В.В.** Методы исследования наноматериалов в живых объектах / В.В. Чурилова // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых: сборник научных статей 2-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок, Курск, 01 декабря 2021 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 278-282.
12. **Чурилова, В.В.** Активность суспензий нанопорошков металлов / В.В. Чурилова, Д.Г. Чурилов, Г.И. Чурилов // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых : сборник научных статей 2-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок, Курск, 01 декабря 2021 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 287-291.

Патент:

Патент № 2735268 С1 Российская Федерация, МПК А01С 1/06. Средство для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных растений и способ его применения: № 2020106854 : заявл. 13.02.2020 : опубл. 29.10.2020 / **В.В. Чурилова**, Г.И. Чурилов, С.Д. Полищук ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «БИНАТЕГ».