МАОУ «Лицей №1» г. Красноярска

ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет

Опытно-исследовательская работа

Использование ауксинов и растворов наночастиц биогенного ферригидрита при размножении смородины черной одревесневшими черенками

Выполнил: Шкуренко Матвей Дмитриевич, учащийся 11 класса МАОУ «Лицей №1» г. Красноярска
Научный руководитель: Мистратова Наталья Александровна, к.с.х.н., доцент, доцент кафедры растениеводства, селекции и семеноводства

Красноярск, 2022 г.

Оглавление

Введение 3
1 Обзор литературы 4
1.1 Особенности размножения ягодных культур одревесневшими черенками 4
1.2 Использование растворов наночастиц в сельском хозяйстве 4
2 Характеристика места и условий проведения исследований 7
3 Объекты и методы исследований 9
4 Результаты исследований 12
4.1 Влияние ауксинов и растворов наночастиц на окореняемость одревесневших черенков 12
4.2 Влияние растворов наночастиц на площадь листовой пластинки 13
4.3 Влияние ауксинов и растворов наночастиц на содержание макро- и микроэлементов в листьях смородины черной 15
4.4 Биометрические параметры саженцев 18
4.5 Качество посадочного материала смородины черной 18
Выводы 20
Список используемой литературы 21

Введение

В Сибирском Федеральном округе за счет собственного производства обеспечивается лишь 15,6 % рекомендуемого уровня потребления плодово-ягодной продукции на человека в год. Увеличение производства плодов и ягод должно реализоваться за счет роста площади плодоносящих насаждений, сортосмены и сортообновления на основе интенсификации производства саженцев. Среди ягодных культур Сибири наиболее значима смородина черная.

Основной способ размножения древесных ягодных кустарников – черенкование. Этот способ отличается высоким коэффициентом размножения, позволяет повысить выход черенков с единицы площади по сравнению с другими способами. Однако у него есть некоторые недостатки, например, низкая регенерационная способность трудно укореняемых сортов смородины черной и, как следствие, низкий процент выхода качественных саженцев. Увеличить эффективность черенкования возможно за счет использования растворов наночастиц биогенного ферригидрита. Оптимизация способа черенкования смородины черной, направленная на ризогенез черенков, обеспечивающая высокий выход качественного посадочного материала, **актуальна. Цель исследований** – изучить возможность использования ауксинов и наночастиц биогенного ферригидрита при размножении смородины черной одревесневшими черенками для получения качественного посадочного материала за один вегетационный период.

Задачи исследования:

1) выявить действие ауксинов и растворов наночастиц на окореняемость черенков;
2) изучить влияние ауксинов и растворов наночастиц на площадь листовой пластинки;
3) изучить влияние ауксинов и растворов наночастиц на накопление макро- и микроэлементов в листьях смородины черной;
4) определить биометрические показатели саженцев;
5) определить качество саженцев.

1 Обзор литературы

1.1 Особенности размножения ягодных культур одревесневшими черенками

Размножение одревесневшими черенками – простой, доступный и поэтому достаточно распространенный среди садоводов способ размножения многих растений. При данном способе размножения существует практически одно обязательное условие успешного укоренения - наличие хорошо подготовленного, орошаемого участка. Одревесневшими черенками принято называть части однолетних, вызревших побегов – приростов текущего года. Длина черенков для каждого растения не одинакова. Одревесневшие черенки необходимо заготавливать со здоровых хорошо растущих растений. Для усиления роста применяют омолаживающую обрезку. Не следует, однако, отбирать чрезмерно сильные толстые приросты. Лучше использовать побеги умеренно растущие. Для нарезки черенков лучше использовать нижнюю и среднюю зоны побега. Оптимальный срок заготовки черенков - осень, когда они содержат большое количество запасных веществ и находятся в состоянии покоя. При необходимости черенки можно заготавливать зимой и рано весной. Длина черенков может быть от 2-4 (однопочковые у смородины и винограда) до 40-60 см, но оптимальной длиной следует считать 25-30 см. Нижний срез делают под почкой, верхний - немного выше ее. Диаметр черенков - 0,7-1,5 см. Иногда их заготавливают с кусочком прошлогодней древесины.

Разность температур в верхнем и нижнем слоях почвы весной способствует образованию зачатков корней у основания черенков и задерживает развитие почек на верхних концах. Черенки хорошо укореняющихся пород можно высаживать осенью сразу после заготовки. Образование корней на черенках обычно наблюдается не раньше чем через 30-35 дней с наступлением устойчивых положительных температур воздуха. В течение этого времени почву необходимо содержать в рыхлом, чистом от сорняков, увлажненном состоянии.

1.2 Использование растворов наночастиц в сельском хозяйстве

В современном сельском хозяйстве все большую популярность набирают препараты, содержащие наночастицы, обладающие огромным потенциалом. Благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, наночастицы перспективны для повышения качества продуктов питания, защиты растений, выявления болезней, мониторинга роста растений, сокращения количества отходов и др. При этом влияние наночастиц на различные виды растений может значительно варьироваться в зависимости от стадии роста, способа и продолжительности воздействия на растения и зависит от формы, размера, химического состава, концентрации, структуры поверхности, агрегации и

растворимости наночастиц [24, с. 3].

Однако, некоторые компоненты нанотехнологических производств потенциально опасны для окружающей среды, а их влияние на биологические объекты недостаточно изучено. Вопрос о воздействии наночастиц на живые организмы связан с исследованием механизмов их токсического эффекта и круговорота в природе. По современным представлениям, сложность взаимодействия зависит как от физико-химических свойств, способа получения, размеров, структуры наночастиц, так и от особенностей биологических объектов, в том числе видов растений. Показано, что вещества в форме наночастиц имеют иные свойства и способность проникновения в растения, чем те же вещества в ионной форме.

Наночастицы металлов характеризуются избыточной поверхностной энергией и высокой реакционной способностью, активно вступают в процессы агрегации и реакции с другими химическими соединениями. Кроме того, взаимодействуя с различными структурами клетки и обладая пролонгированным действием, наночастицы могут выступать в роли катализаторов в реакциях с образованием как стимуляторов роста и развития, так и ингибиторов. То есть растительные организмы дают возможность оценить специфичность воздействия наночастиц и их дозозависимые эффекты. Никель считают необходимым для высших растений ультрамикроэлементом, поскольку от его содержания зависит активность ферментов различных путей метаболизма, например уреазы. Низкие концентрации солей никеля, внесенные в питательный раствор, оказывают положительное влияние на рост и развитие растений, в том числе смородины [11, с. 580].

Наночастицы - это гигантские псевдомолекулы, имеющие сложное внутреннее строение, во многих случаях ядро и оболочку, часто - внешние функциональные группы и т.п. Их уникальные магнитные свойства возникают при размерах 2-30 нм. Ограничение по размерам связано с тем, что они, будучи, как всякие частицы, частью целого, при достижении некоторых размеров начинают резко отличаться от породившего их целого; оценки показывают, что существенные различия начинают возникать, как правило, при размерах частиц ниже ≈ 30 нм.

В.Л. Бопп, Н.А. Мистратова, Г.В. Макарская, С.В. Тарских, М.И. Теремова и Ю.Л. Гуревич [2, с. 149-161] отмечают, что в последнее время повышенное внимание уделяется исследованиям влияния на живые организмы, в том числе растения, наночастиц оксидов алюминия, кремния, титана, железа, цинка, которые широко распространены в природных средах (почве, водных источниках и др.). Наиболее частый акцент этих работ - токсичность наночастиц. Цитотоксичность наночастиц в медикобиологических исследованиях часто связывают с их участием в генерации свободных радикалов (активных форм кислорода, АФК) по механизму реакции Фентона и Хабер-Вейса. Вместе с этим отмечается неоднозначность влияния их на растения, так как наблюдается положительный эффект. Наночастицы способствуют быстрому усвоению микроэлементов в растениях при этом не вызывая негативных воздействий на окружающую среду. Для размножения и

защиты сельскохозяйственных растений используются биогенные наночастицы на основе железа. Исследования Н.А. Мистратовой [19, с. 199-201]. показали, что применение разработки позволило существенно ускорить развитие корневой системы, а также усилить защиту семян от возбудителей болезней растений. Кроме того, значительно увеличилась всхожесть семян, черенки стали быстрее пускать корни [32, с. 10-16].

Наночастицы могут влиять на растения, непосредственно проникая в их клетки. Эффективность такого воздействия не должна быть очень высокой в связи с защитным действием коры и кожицы листьев. Второй механизм, по которому наночастицы могут проявлять токсические свойства к растениям, - косвенный, посредством воздействия на литосферу, ее экологические системы [15, с. 8].

Учеными В.Ю. Ступко, Н.В. Зобовой, Ю.Л. Гуревичем [23, с. 56] отмечается, что высокая биологическая активность наночастиц делает их перспективными для использования в составе удобрений. Разработка подобных продуктов невозможна без выявления механизмов влияния активного вещества на рост и развитие растений, а также определения критических точек, когда воздействие исследуемого агента имеет максимальный эффект. Биогенные ферригидриты представляются перспективным регулятором активности антиоксидантной системы растительных клеток, в том числе в условиях эдафических стрессов.

Как было указано выше, нанотехнологии и наноматериалы находят применение практически во всех областях сельского хозяйства, в том числе и в садоводстве. Исследований по использованию растворов наночастиц в практике питомниководства недостаточно. Значительной биологической активностью обладают наночастицы гидроксидов железа и отличаются относительной простотой производства, поэтому выбранная тема актуальна.

2 Характеристика места и условий проведения исследований

Экспериментальные участки расположены на фитоучастке кафедры растениеводства, селекции и семеноводства Красноярского, который находится в мкр. Ветлужанка г. Красноярска. Местность вокруг территории фитоучастка покрыта смешанным лесом. В 2-3 км к юго-востоку от фитоучастка, в направлении с востока на запад, проходит гряда увалов, возвышающихся над местностью на 200-300 м. В 3 км к югу от фитоучастка протекает р. Енисей, в 2- км к западу небольшая речка Кача.

Территория входит в Красноярский лесостепной равнинный агроклиматический округ. По теплообеспеченности находится в умеренно-прохладном районе, характеризующимся суммой температур выше плюс 10 ºС 1600-1800 º, по влагообеспеченности – в умеренно влажном подрайоне, ГТК равен 1,2-1,4 , осадков выпадает за год 300-470 мм, а за период с температурой выше плюс 10 ºС – 200-240 мм.

Минимальная температура воздуха зимой может опускаться до минус 45…50 ºС, местами – до минус 54 ºС. Минимальная температура почвы на глубине 20-40 см опускалась до минус 20 ºС и ниже.

Основные характеристики климатических условий проведения опыта показаны в таблицах 1 и 2.

Таблица 2.1- Распределение среднесуточных температур за вегетационный период 2022 года (АМС «Красноярское опытное поле»)

Месяцы	Среднесуточная температура, °С					
	декады			средне-месячная	средне-многолетняя	различие, ±
	I	II	III			
Май	9,8	9,9	10,5	10,1	9,1	+1,0
Июнь	15,1	16,3	15,2	15,5	15,6	-0,1
Июль	19,5	20,1	19,3	19,6	18,4	+1,2
Август	19,0	17,3	16,1	17,5	15,3	+2,2
Сентябрь	9,8	10,3	4,2	14,4	9,0	+5,4

Несмотря на суровость климата, вполне доказана возможность выращивания разнообразных плодово-ягодных культур в местных условиях.

Среднесуточная температура за вегетационный период 2022 года (май-сентябрь) при средней многолетней 13,5 °С составила 15,4 °С, т.е. была выше нормы на 1,9 °С.

В августе и сентябре зафиксировано наибольшее превышение температуры воздуха относительно среднемноголетних показателей - 2,2 – 5,4 °С соответственно. При этом в мае (-6,0 мм), июле (-11,6 мм) и сентябре (-12,0 мм) наблюдалось недостаточное количество осадков, сумма которых ниже среднемноголетних показателей на 29,6 мм. Июнь и сентябрь характеризовались превышением осадков на 43,5 и 25,5 мм соответственно.

Таблица 2.2 -Распределение суммы осадков за вегетационный период 2022 года (АМС «Красноярское опытное поле»)

Месяцы	Количество осадков, мм					
	декады			сумма за месяц	средне-многолетняя	различие, ±
	I	II	III			
Май	5,0	28,0	9,0	42,0	48,0	-6,0
Июнь	22,1	3,9	76,5	102,5	59,0	+43,5
Июль	23,3	31,7	14,4	69,4	81,0	-11,6
Август	30,0	43,5	20,0	93,5	68,0	+25,5
Сентябрь	0,7	19,8	8,5	29,0	41,0	-12,0

В августе и сентябре зафиксировано наибольшее превышение температуры воздуха относительно среднемноголетних показателей - 2,2 – 5,4 °С соответственно. При этом в мае (-6,0 мм), июле (-11,6 мм) и сентябре (-12,0 мм) наблюдалось недостаточное количество осадков, сумма которых ниже среднемноголетних показателей на 29,6 мм. Июнь и сентябрь характеризовались превышением осадков на 43,5 и 25,5 мм соответственно.

Основное количество осадков выпадает в летний период (июнь - август), когда идет интенсивный рост растений, во время наибольшей потребности культуры в воде. Распределение осадков по месяцам неравномерное. За три месяца вегетационного периода наблюдался дефицит влаги при повышенных температурах воздуха, что негативно отразилось на развитии саженцев смородины черной.

3 Объекты и методы исследований

Объекты исследований - сорт смородины черной Селеченская, а также растворы наночастиц.

Селеченская (рис. 3.1) – сорт смородины создан селекционером А.И. Астаховым в 1993 году, на базе Всероссийского НИИ люпина расположенного в Брянской области. С 2004 года сорт включен в Госреестр растений РФ. Сорт устойчивый к весенним возвратным заморозкам и морозным зимам. Кусты среднего размера, могут достигать 1,5-1,6 м. Побеги прямые, мощные, хорошо облиственные. Листья средние по величине, пятилопастной формы, зеленого цвета с матовым оттенком. Кисть не сильно длинная состоит из 10-11 цветков. Ягоды в спелом виде имеют темно-черную окраску, легко отрываются от плодоножки. Масса ягод колеблется от 2,6 до 5,3 г. С одного куста за сезон собирают до 4-5,2 кг. плодов. В ягодах содержится 7-7,8% сахаров, 180-182 мг/100 г витамина С. Сорт устойчив к мучнистой росе. Устойчивость к антракнозу – средняя.

Рисунок 3.1 – Сорт смородины черной Селеченская

Наночастицы биогенного ферригидрита получали в культуре аэробных бактерий, выделенных из бокситов Тиманского месторождения (26). Для отбора использовали минеральную среду с цитратом железа в качестве единственного источника углерода и энергии. По результатам секвенирования и анализа фрагмента гена 16S рРНК отобранный штамм по уровню сходства на 99,345 % был определен как *Delftia tsuruhatensis T7.*

Бактерии культивировали в периодическом режиме в реакторе объемом 2,5 литра с аэрацией, механическим перемешиванием 500 об/мин и при температуре 32°С. Питательная среда содержала минеральные соли (в г/л): NH_2SO_4 - 0,4; K_2SO_4 - 0,05; Mg_2SO_4 - 0,05; $NaH_2PO_4 * 12H2O$ - 0,02; цитрат железа — 4,0 - 8,0, которые растворяли в дистиллированной воде, начальная pH 6,3. Длительность культивирования составляла 2-4 суток.

Материал, полученный по завершению процесса культивирования

бактерий осаждали на центрифуге при 4 тыс. об/мин, осадок переносили в бидистиллированную воду, диспергировали ультразвуком при 22 кГц и 8 Вт/см^2 (генератор УЗДА-0,4, Россия). Гомогенат центрифугировали при 18500 g в течение 30 мин, надосадочную жидкость, которая представляла собой водный золь (коллоидный раствор наночастиц) сливали и использовали в экспериментах. Согласно данным порошковой рентгеновской дифракции и мессбауэровской спектроскопии наночастицы представляют собой ферригидрит. Диаметр наночастиц, определенный методом малоуглового рентгеновского рассеяния, составляет 2 – 10 нм. В золях наночастицы находятся в виде моночастиц и наноразмерных агрегатов до 100 нм.

Исследования проводились в 2022 году на фитоучастке кафедры растениеводства, селекции и семеноводства. Варианты опыта: 1) контроль (замачивание в воде); 2) обработка черенков индолил-3-уксусной кислотой (ИУК); 3) ИУК + ферригидрит (ИУК+Feh); 4) ИУК + ферригидрит, допированный Al (ИУК+Feh_Al); 5) ИУК + ферригидрит, допированный Co (ИУК+Feh_Co).

Одревесневшие черенки перед посадкой замачивали в растворах индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) и наночастиц биогенного гидроксида железа в трех модификациях. В растворы для замачивания черенков вносили ИУК (0,07 % на 1 л) и наночастицы (1 мл на 1 л воды). Экспозиция обработки черенкового материала 12 часов. Высадку черенков в открытый грунт проводили 2 мая. Повторность трехкратная, размещение систематическое. Схема посадки 8×40 см, глубина посадки 10-12 см (рис. 3.2).

Рисунок 3.2 – Посадка одревесневших черенков смородины черной сорта Селеченская в открытый грунт, 02.05.2022 г.

В течение вегетационного периода 2022 года проводили некорневую обработку растворами наночастиц (без ИУК) при помощи аэрозольного опрыскивателя с периодичностью 1 раз в 2 недели (4 раза со 02 июля по 13 августа). Обработку растворами осуществляли в ранние утренние часы.

Учет окоренения черенков проводили в первой декаде июня. Черенкование и биометрические исследования определяли по общепринятым методикам М.Т. Тарасенко [26, с. 10-55] и В.Ф. Моисейченко [20, с. 15-62].

Площадь листовой пластинки учитывали в динамике в период роста и развития за вегетационный период 2022 года, площадь листьев рассчитывали в программе Image. Подвижные формы макро- и микроэлементов определяли в сухих образцах листьев смородины на атомно-абсорбционном анализаторе PinAAcle 900T [17, с. 12-15] в Научно-исследовательском испытательном центре ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Учет качества саженцев проводили в соответствии с ГОСТ Р 53135-2008 [6, с. 8-13] в сентябре 2022 года. Математическая обработка результатов исследований проведена методом дисперсионного анализа [9, с. 33-56] с использованием компьютерной программы MS Exsel.

4 Результаты исследований

4.1 Влияние ауксинов и растворов наночастиц на окореняемость одревесневших черенков

Учет окоренения одревесневших черенков смородины поводили в первой декаде июля (рис. 4.1).

Рисунок 4.1 – Учет окоренения одревесневших черенков смородины черной

Процент окоренения на всех вариантах опыта варьировал от 77,8 до 100. Лучший показатель ризогенеза одревесневших черенков смородины черной отмечен на контроле и варианте с использованием Feh_Co – 100 %. (рис. 4.2).

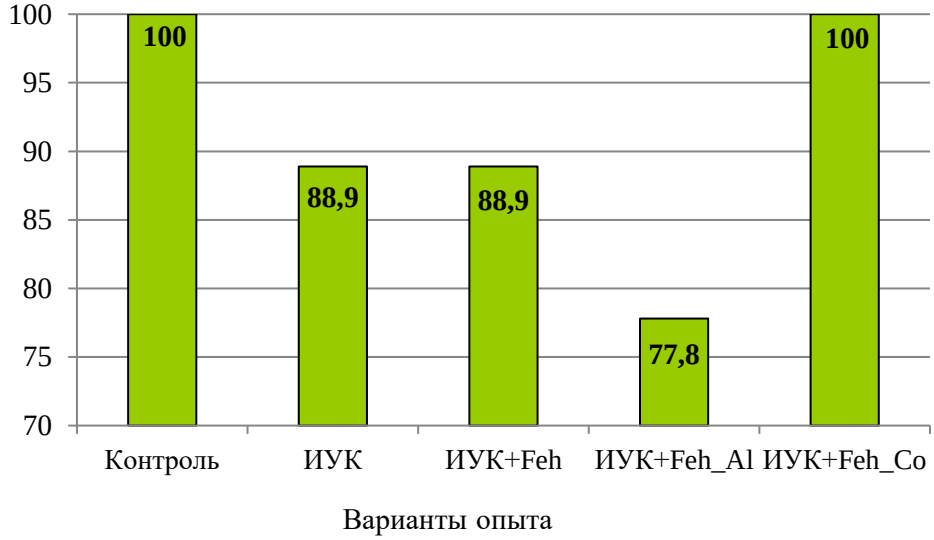


Рисунок 4.2 – Влияние ауксинов и растворов наночастиц биогенного ферригидрита на окоренение одревесневших черенков смородины черной ($НСР_{05}$=9,3), %, июль 2022 г.

При использовании ИУК и ИУК+Feh окоренение составило 88,9 %, что ниже контроля на 10,1 %. На варианте с применением раствора наночастиц биогенного ферригидрита, допированного Al (ИУК+Feh_Al) отмечено снижение

корнеобразовательной способности в сравнении с контролем и другими вариантами на 11,1 - 22,2 %, что подтверждено статистически ($НСР_{05}$=9,3).

Результаты исследований показали, что замачивание черенкового материала в растворах наночастиц позволяет как повышать (ИУК+Feh_Co), так и понижать (ИУК+Feh и ИУК+Feh_Al) окореняемость черенков смородины чёрной. Лучший ризогенез отмечен на варианте с применением Feh_Co и контрольном варианте - 100 %.

4.2 Влияние растворов наночастиц на площадь листовой пластинки

Формирование элементов продуктивности в питомнике определяется во многом листовым аппаратом [25, с.140-145]. Площадь листовой пластинки хотя и является генетически закрепленным признаком [3, с. 8-9], однако колебание данных величин возможно в определенных пределах и зависит от различных факторов. Некорневая обработка листовой поверхности повлияла на варьирование данного признака у смородины (рисунок 4.3, 4.4).

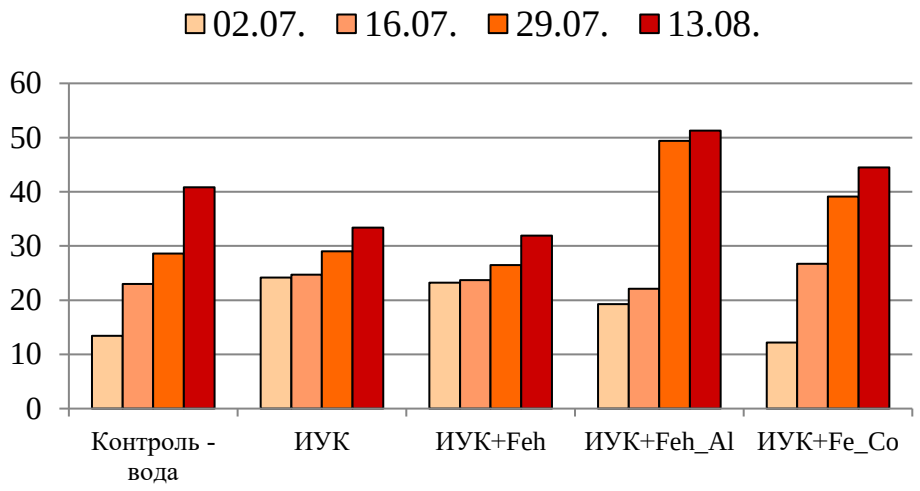
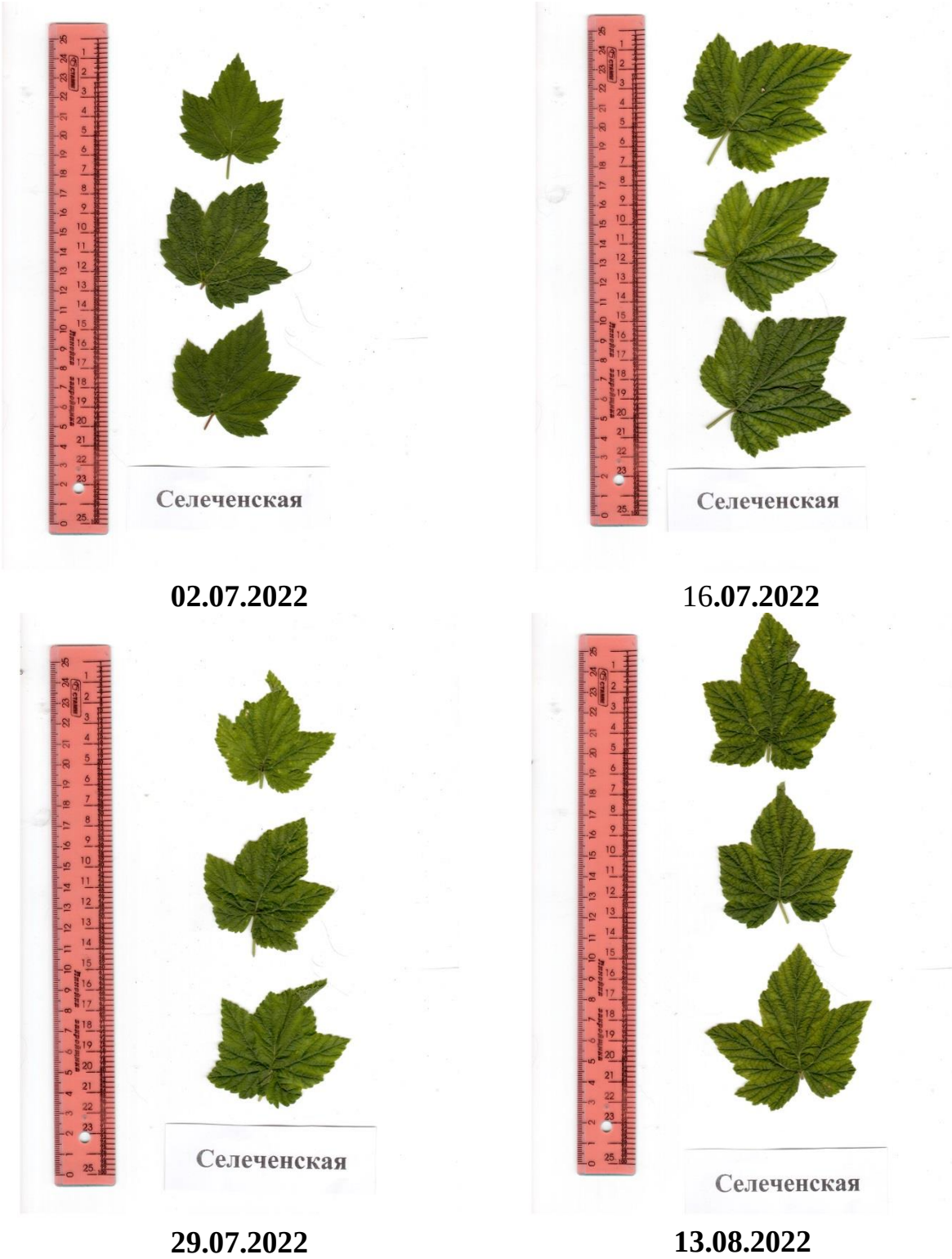


Рисунок 4.3 – Динамика увеличения площади листовой пластинки смородины черной при некорневой обработке растворами наночастиц ($НСР_{05}$=10,1), см^2

У растений смородины на варианте с применением экзогенных обработок растворами наночастиц ИУК+Feh_Al отмечена наибольшая площадь листовой пластинки к концу периода вегетации – 51,3 см^2, что превышает контрольный вариант на 10,5 см^2 или в 1,2 раз. Существенность превышения данного показателя доказана статистически при 5 %-ном уровне значимости ($НСР_{05}$=10,1).

На варианте ИУК+Feh зафиксировано самое низкое значение площади ассимиляционной поверхности к концу периода вегетации - 31,9 см^2, что ниже варианта с использованием ИУК на 1,5 см^2 и ниже контроля на 8,9 см^2. Применение листовых обработок растворами наночастиц биогенного ферригидрита, допированного кобальтом при выращивании саженцев отразилось на увеличении ассимиляционной поверхности листьев – показатель превышает контроль, но несколько ниже варианта с использованием

ИУК+Feh_Al на 6,8 см^2.



02.07.2022 16**.07.2022**

29.07.2022 **13.08.2022**

Рисунок 4.4 – Динамика увеличения площади листовой пластинки смородины черной при некорневой обработке растворами наночастиц на варианте ИУК+Feh_Al

Таким образом, наиболее выраженное увеличение площади ассимиляционной поверхности к концу вегетационного периода наблюдалось

на варианте ИУК+Feh_Al – 51,3 см^2.

4.3 Влияние ауксинов и растворов наночастиц на содержание макро- и микроэлементов в листьях смородины черной

Химический состав зеленой массы растений формируется под влиянием как природных, так и антропогеных факторов. Поступление в окружающую среду продуктов техногенеза и, в частности, тяжелых токсичных металлов во многих случаях негативно отражается на местных ландшафтах, создавая новую геохимическую среду миграции химических элементов и их соединений. Это, прежде всего, выражается в изменении кислотно-щелочных условий среды, окислительно-восстановительных реакций, количественного соотношения элементов, в усилении подвижности одних групп и ослаблении подвижности других и т.п.. Изменения могут привести к угнетению и даже полному уничтожению некоторых видов растений на загрязненных территориях [12, с. 156-164]. Представление об обязательной токсичности всех тяжелых металлов является заблуждением, так как в эту группу попадают медь, цинк, молибден, кобальт, марганец, железо, т.е. те элементы, большое позитивное биологическое значение которых давно уже обнаружено и доказано. Некоторые из них в сельском хозяйстве используются как удобрения и получили название микроэлементов, что связано с теми концентрациями, в которых они необходимы живым организмам. Следовательно, микроэлементы и тяжелые металлы – понятия, относящиеся к одним и тем же элементам, но используемые в разных смыслах, характеризующие их концентрацию в почве, удобрениях и продукции растениеводства и животноводства. Содержание макро-микроэлементов варьирует по вариантам опыта (табл. 4.1).

Роль *калия* в растении многообразна. Он стимулирует нормальное течение процесса фотосинтеза, усиливая отток углеводов из листьев в другие органы. Установлено, что К не входит в состав ферментов, но активирует работу многих из них, например, рибофлавина, тиамина. С участием этих ферментов интенсифицируется биосинтез белков из аминокислот и другие процессы. Он увеличивает гидрофильность (оводненность) коллоидов протоплазмы. Это поддерживает деятельное состояние организма. При достаточном обеспечении калием растения лучше удерживают воду и легче переносят кратковременные засухи. Недостаток калия затягивает развитие культур и их созревание. Уровень накопления калия в листьях черной смородины к концу периода вегетации на всех вариантах опыта находился в пределах 1504-4315 мг/кг, пик содержания К отмечен на варианте с использованием ИУК – 4315 мг/кг. При выращивании саженцев на вариантах с использованием растворов наночастиц концентрация рассматриваемого макроэлемента была выше, чем на контрольном варианте в 0,6-2,3 раза: диапазон составил 2327-3418 мг/кг.

Содержание *магния* в сухих листьях смородины составило от 3787 до 5973 мг/кг в зависимости от варианта опыта. Применение растворов наночастиц биогенного ферригидрита способствовало большему накоплению Mg в растениях к концу периода вегетации в сравнении с контрольным вариантом.

Наибольший показатель отмечен на варианте ИУК+Feh – 5973 мг/кг, что больше относительно контроля на 2186 мг/кг. Магний фактически является единственным металлом, который содержится в хлорофилле.

Таблица 4.1 - Влияние ауксинов и растворов наночастиц на содержание макро- и микроэлементного состава сухой массы листьев смородины черной, мг/кг

Макро- и микроэлементы	Варианты опыта				
	Контроль	ИУК	ИУК+Feh	ИУК+Feh_Al	ИУК+Feh_Co
Калий	1504	4315	3418	2327	3402
Магний	3787	5440	5973	5226	5691
Цинк	42,9	47,0	47,4	45,7	41,6
Свинец	менее предела обнаружения	менее предела обнаружения	менее предела обнаружения	менее предела обнаружения	менее предела обнаружения
Никель	менее предела обнаружения	менее предела обнаружения	менее предела обнаружения	менее предела обнаружения	Менее предела обнаружения
Кальций	22340	30080	28570	26670	28250
Железо	22,85	30,01	31,67	36,60	33,32
Марганец	11,4	15,7	8,5	менее предела обнаружения	17,0
Кобальт	15,9	22,4	24,8	17,2	34,2
Кадмий	менее предела обнаружения	менее предела обнаружения	менее предела обнаружения	менее предела обнаружения	менее предела обнаружения

Цинк обладает слабой фитотоксичностью, которая обнаруживается только при существенном увеличении его содержания в почве. Проявление признаков токсичности цинка у растений наступает при содержании его в тканях 300-500 мг/кг сухой массы. Обычное содержание цинка в частях растений, бедных хлорофиллом, составляет 7-27 мг/кг сухой массы, а в материалах богатых хлорофиллом, - 40-95 мг/кг. В образцах листьев смородины содержание цинка находилось в пределах 41,6-47,4 мг/кг сухой массы. Наибольшая его концентрация зафиксирована на варианте ИУК+Feh – 47,4 мг/кг.

Наименьшую опасность для растений представляет *свинец*, однако, очень высокие концентрации свинца в почвах могут существенно подавлять рост растений и вызывать хлороз, обусловленный нарушением поступления в них железа. Обычное содержание свинца в сельскохозяйственных культурах, используемых в пищу, находится в пределах 1-5 мг/кг сухой массы. Содержание

Pb находилось менее предела обнаружения на всех вариантах опыта.

Содержание *никеля* в листьях смородины черной также было менее предела обнаружения. Необходимость в Ni для растений не доказана, и он классифицируется как несущественный элемент. Если никель им необходим, то в очень малом количестве.

Концентрация *железа* варьировала по вариантам опыта от 22,85 до 36,60 мг/кг. В вариантах с использованием растворов наночастиц концентрация железа в листьях смородины была выше, чем на контроле и на варианте с ИУК: 31-67-36,60 мг/кг. Железо является функциональной составляющей, частью ферментативных систем растений. Особенно важна его роль в окислительном и энергетическом обменах, а также в образовании хлорофилла.

Кальций является структурным компонентом клеточных оболочек растений, он жизненно необходим для образования новых клеток. У растений при недостатке кальция задерживается рост, так как образуется меньшее число клеток. Стебли растений становятся менее прочными, поскольку толщина клеточных оболочек ниже нормы. Важно отметить, что кальций в растениях не передвигается сверху вниз, поэтому его недостаток проявляется на верхних молодых частях растений. Большее накопление кальция к концу периода вегетации зафиксировано у саженцев смородины, выращенных на варианте с ИУК - 30080 мг/кг, что превышает показатель, полученный на контрольном варианте на 7740 мг/кг (22340 мг/кг).

Ягодные культуры являются относительно толерантными к *марганцу*. Содержание Mn в листьях смородины на варианте с использованием ИУК+Feh_Co максимальное – 17,0 мг/кг, но на других вариантах с применением наночастиц содержание низкое по сравнению с другими вариантами опыта (ИУК+Feh - 8,5 мг/кг) или менее предела обнаружения (ИУК+Feh_Al).

Накопление Co в сухой биомассе листьев смородины черной варьировало в пределах 15,9-34,2 мг/кг, высокая, в сравнении с другими вариантами, концентрации кобальта зафиксирована на варианте ИУК+Feh_Co – 34,2 мг/кг. Кобальт положительно влияет на рост растений, участвует в углеводном и минеральном обмене, синтезе хлорофилла в листьях, увеличивает интенсивность дыхания и содержание аскорбиновой кислоты в растениях.

Обычно концентрация *кадмия* в растительном материале находится в пределах от 0,1 до 0,8 мг/кг сухой массы, в отдельных случаях в разных видах растений содержание этого элемента может достигать десятков миллиграммов на килограмм сухой массы, что иногда сопровождается уменьшением роста и массы организма. В листьях смородины черной содержание кадмия на всех вариантах опыта находилась менее предела обнаружения.

В результате исследований установлено, что применение растворов наночастиц биогенного ферригидрита с добавлением ИУК способствует большему накоплению в листьях смородины черной к концу периода вегетации макроэлемента – калия и микроэлементов: магния, цинка, кальция, железа и кобальта.

4.4 Биометрические параметры саженцев

Смородина чёрная обладает высокой способностью к вегетативному размножению. Однако, это свойство во многом зависит от сорта и внешних экологических условий. Об этом свидетельствуют результаты наших исследований (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Влияние наночастиц биогенного ферригидрита на биометрические параметры саженцев смородины черной, 2022 г.

Варианты	Среднее количест-во побегов, шт	Суммарная длина побегов, см	Среднее количество корней 1-го порядка ветвления, шт	Суммарная длина корней 1-го порядка ветвления, см
1. Контроль	1,5	37,0	8,3	108,0
2. ИУК	1,4	37,8	8,8	110,1
3. ИУК+Feh	1,4	45,0	9,0	130,4
4. ИУК+Feh_Al	1,5	60,2	10,5	133,5
5. ИУК+Feh_Co	1,7	63,4	11,0	138,2
$НСР_{05}$	1,0	16,2	2,7	47,3

Применение наночастиц оказало незначительное действие на увеличение количества побегов – показатели были на уровне и ниже контрольного варианта (1,4-1,5 шт), отличия в увеличении среднего количества побегов наблюдались только на варианте с использованием кобальта – 1,7 шт. Использование растворов наночастиц положительно повлияло на увеличение суммарной длины побегов (45,0-63,4 см) и корней (130,4-138,2 см) относительно контроля. На варианте ИУК+Feh_Co - отмечено превышение среднего количества корней 1-го порядка ветвления – 11,0 шт, что больше относительно контроля на 2,7 шт.

Таким образом, лучшие показатели биометрических параметров саженцев отмечены на варианте с применением биогенного ферригидрита допированного кобальтом. Обработка наночастицами повлияла на увеличение показателя наиболее значимых морфометрических параметров: среднее количество побегов – 1,7 шт., суммарная длина побегов – 63,4 см, среднее количество корней 1-го порядка ветвления – 11,0 шт, суммарная длина корней 1-го порядка ветвления – 138,2 см.

4.5 Качество посадочного материала смородины черной

Из рисунка 4.8 видно, что наибольшее количество нестандартных саженцев получено на контрольном варианте. При использовании ИУК + биогенный ферригидрит, допированный кобальтом – выход стандартных

саженцев, соответствующих 1-му и 2-му товарному сорту составил – 60,0 %, что выше относительно контроля на 29,9 % (8,0 % - 1 сорт, 22,1 % - 2 сорт).

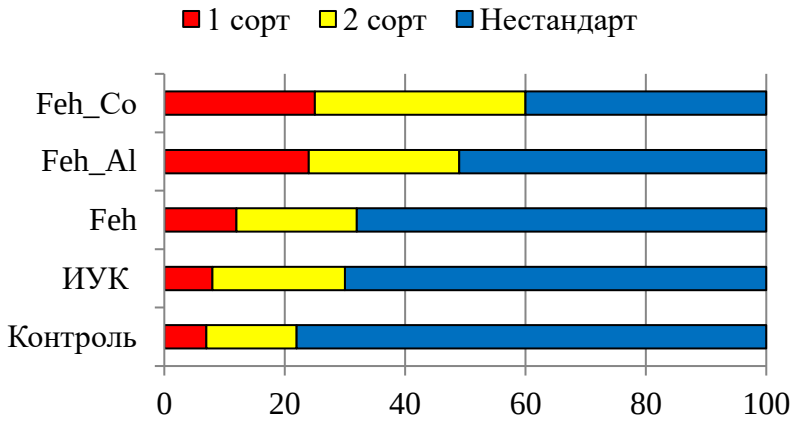


Рисунок 4.8 – Влияние обработок ауксинами и растворами наночастиц на выход саженцев смородины черной, сентябрь 2022 г.

На варианте с Feh_Al и Feh получено 46,0 и 64,0 % нестандартных саженцев соответственно, при этом выход посадочного материала товарных сортов составил 54,0 и 36,0 %, что превышает показатели, полученные на контроле.

Таким образом, результаты исследования показывают, что замачивание черенкового материала в растворах наночастиц с добавлением ИУК и некорневая обработка растений растворами наночастиц в течение вегетационного периода увеличивает выход качественного посадочного материала относительно контроля.

Выводы

1. Обработка одревесневших черенков смородины черной сорта Селеченская раствором наночастиц биогенного ферригидрита, допированного кобальтом (ИУК+Feh_Co) с добавлением ИУК положительно повлияла на окоренение зеленых черенков, ризогенез составил 100 %. Окореняемость на контрольном варианте составила также 100 %.
2. Некорневая обработка наночастицами биогенного ферригидрита увеличила среднюю площадь ассимиляционной поверхности одного листа на варианте с использованием ИУК+Feh_Al – 51,3 см^2, что подтверждено статистически и превышает контрольный вариант на 10,3 см^2.
3. Применение растворов наночастиц биогенного ферригидрита с добавлением ИУК способствует большему накоплению в листьях смородины черной к концу периода вегетации макроэлемента – калия и микроэлементов: магния, цинка, кальция, железа и кобальта.
4. Лучшие показатели биометрических параметров саженцев отмечены на варианте с применением биогенного ферригидрита допированного кобальтом. Обработка наночастицами повлияла на увеличение показателя наиболее значимых морфометрических параметров: среднее количество побегов – 1,7 шт., суммарная длина побегов – 63,4 см, среднее количество корней 1-го порядка ветвления – 11,0 шт, суммарная длина корней 1-го порядка ветвления – 138,2 см.
5. При использовании биогенного ферригидрита, допированного кобальтом с добавлением ИУК выход стандартных саженцев, соответствующих 1-му и 2-му товарному сорту составил – 60,0 %, что выше относительно контроля на 29,9 % (8,0 % - 1 сорт, 22,1 % - 2 сорт).

Список используемой литературы

1. Бободжанова Х.И., Калмыкова В.Г. Влияние условий выращивания на содержание фотосинтетических пигментов в листьях винограда // Известия Академии наук республики Таджикистан. – 2020. - №1(208). – С. 27-33.
2. Бопп, В.Л. Исследование влияния наночастиц биогенного ферригидрита на ризогенез черенкового материала садовых культур / В.Л. Бопп, Н.А. Мистратова, Г.В. Манарская, С.В. Тарских, М.И. Теремова, Ю.Л. Гуревич // Адаптивность сельскохозяйственных культур в экстремальных условиях Центрально- и Восточно-Азиатского макрорегиона: мат-лы симпозиума с междунар. участием (Красноярск, 17-18 августа, 2017 г). – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2018. – С. 149-161.
3. Гегечкори, Б.Г. Формирование площади листовой поверхности яблони в зависимости от подвоя и площади питания / Б.Г. Гегечкори, А.А. Кладь // Садоводство и виноградарство. – 2019. - № 1. – С. 8-9.
4. Гетко Н.В. Растения в техногенной среде: Структура и функция ассимиляционного аппарата. Монография. – Минск: Наука и техника, 1989. – 208 с.
5. Гилязова А.Р., Садикова Л.В., Фахрутдинова А.С., Скворцова Ю.Н. Исследования содержания фотосинтетических пигментов в листьях березы повислой (*Betulapendula*Roth) в условиях антропогенного стресса // Сб. статей VII межд. научн. пркт. конф., 2019. – С. 21-24.
6. ГОСТ Р 53135-2008 «Посадочный материал, плодовых, ягодных, субтропических, орехоплодных, цитрусовых культур и чая».
7. Губин, С.П. Магнитные наночастицы: методы получения, строение, свойства / С.П. Губин, Ю.А. Кошкаров, Г.Б. Хомутов, Г.Ю. Юрков, 2009. – С. 23.
8. Дорошенко, Т.Н. Устойчивость плодовых и декоративных растений к температурным стрессорам: диагностика и пути повышения / Т.Н. Дорошенко, Н.В. Захарчук, Д.В. Максимцов. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2014. – 174 с.
9. Доспехов, В.А. Методика полевого опыта / В.А. Доспехов. – М.: Агропроиздат, 1985. – 351 с.
10. Зборовская О.В., Прядкина Г.А., Оксем В.П. Зависимость хлорофильного индекса посевов высокопродуктивных сортов озимой пшеницы от условий выращивания и его связь с продуктивностью // Земледелие и селекция в Белоруси. – 2016. - №52. – С. 88-95.
11. Зотикова, А.П. / Морфофизиологические особенности проростков пшеницы (*triticum aestivum* l.) при воздействии наночастиц никеля / Т.П. Астафурова, А.А. Буренина, С.А. Сучкова, Ю.Н. Моргалев // Сельскохозяйственная биология. – 2018. - №3. – С. 578-586.
12. Кириенко Н.Н., Первышинна Г.Г., Конышева Е.Н., Терлеева П.С. Механизмы устойчивости сельскохозяйственных и дикорастущих растений к стрессовым факторам среды. – Красноярск: Красн. гос. аграрн. ун-т, 2009. – 269 с.

13. Коротченко И.С. Охрана окружающей среды: метод. указания к лаборат. работам. – Красноярск: КрасГАУ, 2013. – 55 с.

14. Кравченко И.В., Мулюкин М.А., Емцев А.А. Пигменты фотосинтеза и флавоноидные соединения у *Achelleamillefolium*L. и *Artemisiavulgaris*L. в условиях антропогенной нагрузки // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения: сб. науч.. трудов по матер.межд. научн. эколог. конф., посвящ. году науки и технологий. – Краснодар, 2021. – С. 679-681.

15. Колбанов, Д.В. Воздействие ауксинов и металл-содержащих наночастиц на укоренение и жизнеспособность эксплантов хвойных пород / Е.О. Легерова, И.И. Донская, А.В. Батулев, С.А. Чайкун, В.В. Демидчик.- 2018. - С 8.

16. Лиховидова В.А., Ионова Е.В., Газе В.Л., Марченко Д.М. Засухоустойчивость образцов озимой пшеницы в начальную фазу органогенеза и изменение площади листьев и содержания хлорофилла растений в условиях водного стресса // Зерновое хозяйство России. – 2018. - №5(59). – С. 29-31.

17. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. – М., 1992.

18. Минаков, И.А. Экономика сельского хозяйства / И.А. Минаков, Л.А. Сабетова, Н.И. Куликов. – М. : КолосС, 2004. – 328 с.

19. Мистратова, Н.А. Ризогенез и морфометрические изменения у черенков смородины черной под влиянием наночастиц биогенного ферригидрита / Н. А. Мистратова // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. – Красноярск, 2019. – С. 199-201.

20. Моисейченко, В.Ф. Методика опытного дела в плодоводстве и овощеводстве / В.Ф. Моисейченко. – Киев : Выща шк. Головное изд-во, 1988. – С. 118-119.

21. Соколова Г.Г. Влияние техногенного загрязнения на пигментный состав листьев березы повислой (*Betulapendula*Roth) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2020. – Т.19. №1. – С. 223-228.

22. Соловьѐва, А.Е. Качество саженцев смородины черной в зависимости от способа размножения / А.Е. Соловьѐва // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2003. – №2. – С. 125-128.

23. Ступко, В.Ю. / Реакция клеток пшеницы на наночастицы ферригидрита в модельной системе in vitro / В.Ю. Ступко, Н.В. Зобова, Ю.Л. Гуревич // Аграрный научный журнал. - 2020. -№11. - С 56.

24. Сучкова, С.А. / Морфологические изменения в черенках смородины черной под влиянием наночастиц оксида цинка / С.А. Сучкова, Т.П. Астафурова. - «ФГАОУ ВО НИТГУ». - 2017. – С. 3.

25. Сычева, И.И. Эффективность приемов подготовки почвы и внесения минеральных удобреений при выращивании саженцев плодово-декоративных культур в условиях ЦЧР: дис. … канд. с.-х. наук / И.И. Сычева; Орловский гос. аграр. ун-тт. – Орел, 2014. – 141 с.

26. Тарасенко, М.Т. Размножение растений зелеными черенками / М.Т. Тарасенко. – М.: Колос, 1967. - С. 169-184.

27. Третьяков Н. Практикум по физиологии растений. - М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.

28. Урумян В.Р., Подушин Ю.В., Федулов Ю.П. Влияние факторов агротехники на пигментный аппарат растений озимой пшеницы при выращивании на различных предшественниках // Вестник научно-технического творчества молодежи Кубанского ГАУ: сб. матер.в 4-х томах, 2016. – С. 52-54.

29. Федулов Ю.П., Подушин Ю.В. Содержание и соотношение хлорофиллов в листьях озимой пшеницы в зависимости от агротехнических приемов ее выращивания // Научный журнал КубГАУ. – 2009. - №51(7). – С. 1-13.

30. Шестакова Е.О., Оганян Л.Р., Чернова И.В., Бильдиева Е.А. Влияние сорта, предшественника, уровня минерального питания, сроков и норм высева на относительное содержание хлорофилла в растениях озимой пшеницы // Новости науки в АПК. – 2019. - №3(12). – С. 487-490.

31. Шестакова Е.О., Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Оганян Л.Р., Чернова И.В. Влияние различных элементов технологии возделывания на содержание хлорофилла в растениях озимой пшеницы и ее урожайность // 2020. -№5(196). – С. 27-37.

32. Mistratova, N. A. The use of biogenic nanoparticles of ferrihydrite in the propagation of horticultural crops by cuttings / N. A. Mistratova, V. L. Bopp, E. A. Petracovskaya, M. I. Teremova, Yu. L. Gurevich // II International conference «AGRITECH-II – 2019» IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 421 (2020) 062014. - Krasnoyarsk, Russia. doi: 10/1088/1755-1315/421/6/062014