

Бадран Антар Махмуд Абделаиз

**ВЛИЯНИЕ АЗОТНЫХ НАНО-УДОБРЕНИЙ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН И
ПЕРВЫЕ СТАДИИ РОСТА ГОРЬКОГО МИНДАЛЯ ПРИ СОЛЕВОМ
СТРЕССЕ**

06.01.01– общее земледелие и растениеводство

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата сельскохозяйственных наук

Москва – 2019

Диссертационная работа выполнена в агроинженерном департаменте Аграрно-технологического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов».

Научный руководитель:

Савин Игорь Юрьевич,
доктор сельскохозяйственных наук,
академик РАН

Официальные оппоненты:

Раджабов Агамагамед Курбанович,
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор, декан факультета Садоводства
и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВО
«Российский государственный аграрный
университет – МСХА имени К.А.
Тимирязева»

Коновалов Сергей Николаевич,
кандидат биологических наук,
заведующий Лабораторно-аналитическим
центром агрохимии, почвоведения и
агроэкологии ФГБНУ «Всероссийский
селекционно-технологический институт
садоводства и питомниководства»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Северо-Кавказский
федеральный научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия»

Защита диссертации состоится «23» января 2020 года в ___ часов на заседании диссертационного совета Д 999.078.03 при ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», ФГБНУ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» по адресу: 117198 г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.8, корпус 2.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке РУДН по адресу: 117198 г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6; библиотеке ФНЦО по адресу: 143080, Московская область, пос. ВНИИССОК ул.Селекционная, д.14; и библиотеке Почвенного института им. В.В.Докучаева по адресу: 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7 стр. 2 Объявление о защите и текст автореферата размещены на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации и на сайте РУДН

Автореферат разослан « 20» ноября 2019 г.

Учёный секретарь диссертационного совета

В.В. Введенский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Горький миндаль (*Prunus Amygdalus*), относящийся к семейству *Rosaceae*, является одним из наиболее используемых подвоев для косточковых культур в Египте. Большая часть насаждений миндаля в стране сосредоточена на новых мелиорированных почвах, которые в той или иной степени засолены. Засоление почвы и использование для орошения засоленных орошаемых вод может вызывать накопление токсичных ионов в почвах, осмотический стресс, дефицит питательных веществ и окислительный стресс (Gupta, 1979). Засоление почв влияет почти на все стадии развития растений, включая прорастание, вегетативный рост и репродуктивное развитие (Munns, 2002). Растения горького миндаля также чувствительны к засолению (Hassan, El-Azayem, 1990).

Мочевина является наиболее широко используемым азотным удобрением в сельском хозяйстве Египта. Мочевина относится к удобрениям с высоким высвобождением азота и, после добавления достаточного количества воды, может растворяться в течение 48 часов (Hu et al., 2013). Это приводит к большим потерям азота в почвах за счет выщелачивания (50-70%), а также к появлению водорастворимых нитратов или выбросов в атмосферу в виде аммиака и оксидов азота. В результате эффективность использования азотных удобрений в стране составляет около 20-50% (Al-Zahrani, 1999). Удобрения потенциально могут быть использованы в наноформах. Размеры наночастиц позволяют получать дополнительные площади покрытия, что облегчает поглощение удобрений растениями и повышает длительность высвобождения веществ, их доступность, уменьшает потери удобрений (De Rosa et al., 2010).

Все это предопределяет актуальность исследования эффективности использования азотных наноудобрений при возделывании горького миндаля на фоне засоления почв.

Степень разработанности. Эффективность использования наноудобрений для повышения процента всхожести и скорости прорастания различных сельскохозяйственных растений была исследована многими авторами (Zheng et al., 2005; Kottegoda et al., 2011; Спиридонов и др., 2013; Адиньяев и др., 2014; Giraldo et al., 2014; Siddiqui et al., 2014; Laware, Raskar, 2014; Azimi et al., 2014; Mukherjee et al., 2016; Singh, Lee, 2016; Суханова и др., 2017). Также для многих растений установлено, что наноудобрения могут смягчать неблагоприятное воздействие солевого стресса, что в свою очередь увеличивает параметры прорастания, поддерживает вегетативный рост с улучшением адаптации и устойчивости растений (Sabaghnia, Janmohammadi, 2015; Qados, Moftah, 2015; Mozafari, Ghaderi, 2018).

В научной литературе практически нет данных о влиянии азотных наноудобрений на прорастание семян и рост проростков горького миндаля, особенно в условиях засоления почв и оросительной воды. Это и предопределило постановку темы наших исследований.

Цель и задачи исследования. Целью исследования являлось изучение влияния азотных наноудобрений на фоне засоления почв и поливных вод на всхожесть и ранние стадии развития проростков горького миндаля.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести литературный обзор по теме исследований, осуществить на его основе выбор типа наноудобрения и синтезировать его для проведения эксперимента.

2. Осуществить сравнительное исследование воздействия обычного минерального и наноудобрения на всхожесть и ранние стадии развития проростков горького миндаля в контролируемых условиях.

3. Провести анализ влияния засоления на изменчивость процента всхожести и вегетативных признаков роста подвоев горького миндаля на фоне применения наноудобрений.

4. Изучить изменение химического состава растений и субстрата в процессе выполнения эксперимента.

Объект и предмет исследования. В качестве объекта исследований выступают семена и проростки горького миндаля *Prunus Amygdalus* L. (семейство *Rosaceae*). Предметом исследования являлось изучение влияния азотных наноудобрений на всхожесть и ранние стадии развития проростков горького миндаля в условиях засоления.

Научная новизна. В результате проведенных исследований впервые установлено, что использование азотного наноудобрения уменьшает воздействие стресса от засоления в период прорастания семян горького миндаля. Были определены максимальные значения процента всхожести и скорости прорастания. Установлено, что при использовании наноудобрений происходит ускорение развития эмбриона и выхода семян из стадии покоя.

Впервые показано, что внесение азотного наноудобрения улучшает способность проростков горького миндаля на ранних стадиях развития переносить стресс от засоления. Улучшается поступление всех питательных веществ, необходимых для роста растений, снижается выщелачивание азота и повышается эффективность использования азота растением в течение постоянного и длительного (медленного) высвобождения вещества по сравнению с традиционными минеральными удобрениями. Внесение наноудобрения в почву усиливает поглощение растениями K^+ , уменьшая поглощение Na^+ . Влияние азотных наноудобрений на всхожесть семян и рост саженцев горького миндаля в засоленных условиях изучено впервые.

Теоретическая и практическая значимость. Полученные результаты могут использоваться производителями саженцев и плодово-ягодными питомниками. Установлено, что саженцы на стадии прорастания и ранних стадиях роста растений в питомнике, которые будут выращиваться на засоленных почвах или в условиях орошения засоленными водами, должны быть предварительно обработаны раствором солей и азотным наноудобрением. Это приводит к ускорению процесса прорастания, получению более сильной рассады, адаптированной к стрессовым условиям. Кроме того, результаты исследования могут использоваться в качестве основы для познания защитных механизмов гликофитных растений к стрессу засоления, а также при селекции новых сортов горького миндаля. Также результаты исследований могут быть использованы студентами сельскохозяйственных факультетов и институтов при изучении значения нанотехнологий, а также

наноудобрений в современном сельском хозяйстве.

Методология и методы исследования. Методология проводимых исследований основывалась на анализе российских и иностранных научных публикаций, формулировке целей и задач исследования, проведении вегетационных опытов, учетов и наблюдений, статистической обработке и анализе полученных данных.

Результаты исследований были получены на основе специально проведенного вегетационного опыта. Для проведения опыта было синтезировано азотное наноудобрение по специальной методике (Kottegoda et al., 2011; Subbaiya et al., 2012). Результаты опыта были проанализированы на основе дисперсионного анализа с использованием пакета прикладных программ MSTAT.

Основные положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие положения:

1. азотные наноудобрения более эффективны по сравнению с обычными минеральными удобрениями на ранних стадиях развития горького миндаля в условиях засоления;

2. замачивание семян горького миндаля в солевом растворе приводит в дальнейшем к повышению устойчивости саженцев к засолению;

3. использование наноудобрений способствует повышению устойчивости проростков горького миндаля к засолению.

Степень достоверности работы. Достоверность полученных результатов подтверждается использованием современного научного оборудования, статистической обработкой полученных данных, использованием стандартных методик анализа образцов почв и растений, а также докладами и обсуждениями результатов работы на научных конференциях.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на заседаниях агроинженерного департамента АТИ РУДН и на Международных научно-технических и производственных конференциях РУДН (Москва, 2016, 2018); на X Всероссийском конгрессе молодых ученых-биологов «Симбиоз 2017» (Казань, 2017); на первой и второй открытых научных конференциях молодых ученых «Почвоведение: горизонты будущего» (Москва, 2017, 2018); на I Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежная наука: вызовы и перспективы» (Макеевка, 2018); на Международной научно-практической конференции «Наука и образование третьего тысячелетия» (Москва, 2018).

Публикация результатов исследования. По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе 2 работы в изданиях, рекомендованных ВАК, и 1 статья в зарубежном журнале, входящем в базу данных Scopus.

Личный вклад. Соискатель самостоятельно планировал эксперимент, осуществлял постановку целей и задач исследования, самостоятельно проводил сбор исходных данных, закладку вегетационного опыта, анализ и обобщение полученных результатов, подготовку диссертации, выводов и рекомендаций производству. Доля личного участия в выполнении работы и написании статей – 85%.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 124 страницах компьютерного текста, включает 31 таблицы, 5 рисунков. Состоит из введения, списка сокращений, 3 глав, заключения и выводов, а также списка использованной литературы, который включает 202 наименования, в том числе 182 источников на английском языке.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Обзор литературы. В главе рассмотрены происхождение и хозяйственное значение горького миндаля в Египте, особенности морфологического отклика растений на солевой стресс и влияние применения удобрений на всхожесть и первые стадии роста растений.

Анализ литературных источников показал, что адаптация и устойчивость к условиям солевого стресса теоретически могут быть улучшены, если семена и проростки будут предварительно обработаны солевым раствором в период прорастания семян и на первых стадиях роста растений.

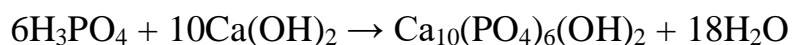
Кроме того, было установлено, что наноудобрения обычно обеспечивают растения необходимым количеством питательных веществ. При этом уменьшается выщелачивание азота и повышается эффективность его использования растением в условиях засоления по сравнению с использованием других минеральных удобрений.

Глава 2. Условия и методика проведения опыта

Синтез азотного наноудобрения

Азотное наноудобрение (мочевина, покрытая гидроксиапатитом) синтезировали в агроинженерном департаменте Аграрно-технологического института РУДН и в Почвенном институте им. В.В. Докучаева в соответствии с методикой, описанной в следующих статьях (Kottegoda et al., 2011; Subbaiya et al., 2012).

Наночастицы гидроксиапатита (ГА) синтезировали с использованием водного раствора гидроксида кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) и 85% фосфорной кислоты (H_3PO_4) в соответствии со следующим уравнением химической реакции:



Размер частиц мочевины уменьшали с использованием цитрат тринатрия по методу, описанному Corradini et al. (2010). Площадь соприкосновения между ГА и мочевиной увеличивали за счет ультразвукового перемешивания (30 кГц в 1 час). При таком способе синтеза молекулы ГА прикрепляются к поверхности наночастиц мочевины через водородную связь между N-H группой мочевины и O-H группой ГА. В результате было получено азотное наноудобрение (мочевина, покрытая гидроксиапатитом) с размером частиц 40-70 нм (данные подтверждены с использованием электронного микроскопа), химический состав которого приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание азота, фосфора и кальция в наноудобрении

химический элемент	содержание в наноудобрении (%)
N	33.2
P	6.2
Ca	13

Условия выращивания растений

Семена горького миндаля замачивали в растворе NaCl в следующих вариантах (концентрациях): 1, 3 и 5 dSm⁻¹ в течение 48 часов. Затем высевали в перлит и обрабатывали тремя видами удобрений: мочевины, сульфат аммония и наноудобрение в концентрации 0%, 25%, 50% и 100% для каждого (100% соответствуют 100 мг действующего вещества N) (Nielsen et al., 1993). Фосфор и калий добавляли во всех вариантах опыта в количестве, достаточном для роста растений. Затем семена обрабатывались раствором соли в различной концентрации и стратифицировались при t +6 °C в течение восьми недель.

После полной всхожести использовали по три растения для каждого варианта опыта, высаживая их в полиэтиленовые пакеты, содержащие смесь торфа и перлита. Вносили удобрения (мочевина, сульфат аммония и наноудобрения) в тех же концентрациях: 0%, 25%, 50% и 100%; (100% = 1г действующего вещества N на этой стадии) и дополнительно обрабатывали солевым раствором только максимальной концентрации (5 dSm⁻¹) один раз в неделю.

Таким образом, с учетом трех типов удобрений в 4 концентрациях и трех концентрациях солевого раствора, всего было 36 вариантов опыта в 3 повторностях.

После прорастания семян проводили следующие измерения:

1. Влажность семян (г/семя).

2. Процент всхожести определяли до конца периода всходов каждую неделю.

Процент всхожих семян был рассчитан по следующей формуле:

$$GP = \Sigma G/N * 100,$$

где G - число проросших семян, а N-число всех семян (Copeland, McDonald, 2001).

3. Скорость прорастания (GR) рассчитывалась по следующей формуле:

$$GR = \Sigma n / \Sigma (Dn) * 100,$$

где n-количество проросших семян за период, и D-количество дней от начала опыта (Copeland, McDonald, 1995).

4. Длину стебля (см) измеряли от поверхности почвы до точки активного роста.

5. Диаметр стебля (мм) каждого растения измеряли с помощью штангенциркуля.

В стадии вегетативного роста также измерялись и рассчитывались:

1. Прирост диаметра стебля (мм) каждого растения (с помощью штангенциркуля следующим образом: прирост диаметра стебля = диаметр стебля в августе – начальный диаметр стебля (конец февраля)).

2. Прирост высоты растений (см) (высота растений в августе минус начальная высота растений (конец февраля)).

3. Площадь листовой поверхности (cm^2) (на основе анализа площади листьев по их фотографиям в пакете программ ILWIS) и количество листьев с растения.
4. Процент сухого вещества в листьях (отношение сухой массы листа к свежей массе листа, выраженное в процентах от свежей массы листа (Yulin et al., 2005)).
5. Содержание хлорофилла a, b и каротиноидов (mg/g) определяли в соответствии с методикой (Починок, 1976).
6. Содержание пролина определяли по (Шихалеева и др., 2014).
7. Содержание углеводов (mg/g) определяли фенольно-серноокислотным методом (Sadasivam, 2005).
8. Содержание азота (%) в листьях и почвенном субстрате определяли соответственно «Методическим указаниям по определению щелочногидролизующего азота в почве по методу Корнфилда» (1985).
9. Содержание макроэлементов; P, K, Ca, Mg и Na (ppm) в листьях определяли с использованием микроволновой (сверхвысокочастотной) плазменно - атомной эмиссионной спектрометрии (хроматограф 4100 MP-AES) (McDonald Amorin, 2015; Vummiti, 2015), а в почвенном субстрате методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии (x-ray fluorescence) (Welter et al., 1999).

Статистическая обработка полученных данных

Обработку данных проводили на основе дисперсионного анализа (ANOVA) в программном пакете MSTAT. Парное сравнение средних значений проводили по наименьшей существенной разности НСР (аналог LSD в англоязычной литературе).

Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Влияние наноудобрения на прорастание семян и ранние стадии развития горького миндаля в условиях засоления

3.1.1. Содержание влаги в семенах, процент и скорость прорастания

Результаты анализа воздействия трех факторов (засоление, вид удобрений и концентрация удобрений) на влажность семян, процент и скорость прорастания представлены в Таблицах 2–4. Общей закономерностью является повышение этих показателей при увеличении доз удобрений и уменьшении концентрации соли в растворе. В наибольшей степени эта тенденция выражена при использовании наноудобрений. В результате наибольшее значение показателей всхожести было отмечено при концентрации наноудобрения 50 и 100% и концентрации солей в растворе 1 dsm^{-1} . То есть, внесение азотных удобрений (особенно в наноформе) значительно увеличивает содержание воды в семенах и уменьшает стресс от засоления. Вероятнее всего это связано с улучшением поглощения влаги семенем с образованием новых отверстий внутри семенной оболочки, что может увеличивать биологическую активность запасаемых веществ, и ускорять развитие зародыша после стадии покоя семян. Подобный механизм был исследован для других растений Khodakovskaya et al. (2009).

Таблица 2 – Влияние внесения удобрения на влажность семян горького миндаля (Г) в условиях засоления

Обработки		Без внесения	25 %	50 %	100 %	Среднее (AB)
концентрация солей 1dsm ⁻¹	мочевина	0.42 ^o	0.51 ^{mn}	0.58 ^{ijkl}	0.60 ^{ijk}	0.53 ^d
	сульфат аммония	0.43 ^o	0.57 ^{klm}	0.65 ^{hij}	0.69 ^{gh}	0.59 ^c
	наноудобрение	0.44 ^{no}	0.79 ^{ef}	0.99 ^{ab}	1.04 ^a	0.82 ^a
Среднее (AC)		0.43^g	0.62^{cd}	0.74^a	0.78^a	0.64^{a*}
концентрация солей 3dsm ⁻¹	мочевина	0.40 ^o	0.55 ^{klm}	0.54 ^{kl}	0.54 ^{kl}	0.51 ^d
	сульфат аммония	0.39 ^o	0.56 ^{klm}	0.56 ^{kl}	0.58 ^{kl}	0.52 ^d
	наноудобрение	0.41 ^o	0.66 ^{hi}	0.88 ^{cd}	0.95 ^{bc}	0.73 ^b
Среднее (AC)		0.40^g	0.59^{de}	0.66^{bc}	0.69^b	0.58^{b*}
концентрация солей 5dsm ⁻¹	мочевина	0.31 ^p	0.41 ^{no}	0.43 ^o	0.44 ^o	0.40 ^e
	сульфат аммония	0.32 ^p	0.52 ^{lm}	0.53 ^{kl}	0.55 ^{kl}	0.48 ^d
	наноудобрение	0.31 ^p	0.56 ^{klm}	0.74 ^{fg}	0.84 ^{de}	0.61 ^c
Среднее (AC)		0.31^h	0.51^f	0.57^e	0.60^{de}	0.49^{c*}
Среднее (BC)	мочевина	0.38 ^f	0.53 ^e	0.54 ^{de}	0.56 ^{de}	0.49^{c**}
	сульфат аммония	0.36 ^f	0.52 ^e	0.54 ^{de}	0.57 ^d	0.53^{b**}
	наноудобрение	0.37 ^f	0.67 ^c	0.87 ^b	0.94 ^a	0.71^{a**}
Среднее (C)		0.38^d	0.57^c	0.65^b	0.68^a	

В этой таблице и во всех таблицах ниже: (A* = засоленность, B** = вид удобрения и C = концентрация удобрения. Надстрочные буквы указывают на статистически значимые различия между средними, установленные по НСР₀₅.

Таблица 3 – Влияние внесения удобрения на процент прорастания семян горького миндаля в условиях засоления

Обработки		Без внесения	25 %	50 %	100 %	Среднее (AB)
концентрация солей 1dsm ⁻¹	мочевина	76.00 ^{kl}	84.00 ^{ij}	86.65 ^g	90.54 ^d	84.33 ^{b-d}
	сульфат аммония	76.67 ^{kl}	86.67 ^{g-i}	90.66 ^d	90.67 ^d	86.17 ^b
	наноудобрение	77.67 ^k	94.68 ^{bc}	97.33 ^a	98.67 ^a	92.09 ^a
Среднее (AC)		76.78^f	88.45^c	91.56^a	93.34^a	87.53^{a*}
концентрация солей 3dsm ⁻¹	мочевина	70.00 ^{mn}	77.33 ^k	84.00 ^{ij}	86.67 ^g	79.50 ^{ef}
	сульфат аммония	69.67 ^{mn}	84.00 ^{ij}	89.33 ^e	89.33 ^e	83.03 ^{cd}
	наноудобрение	69.67 ^{mn}	88.00 ^{f-h}	92.00 ^c	93.33 ^c	85.75 ^{bc}
Среднее (AC)		69.78^g	83.11^d	88.44^c	89.78^b	82.78^{b*}
концентрация солей 5dsm ⁻¹	мочевина	65.33 ^o	69.33 ⁿ	73.33 ^l	77.33 ^k	71.33 ^g
	сульфат аммония	65.33 ^o	78.67 ^k	82.67 ^j	86.67 ^g	78.33 ^f
	наноудобрение	65.00 ^o	85.33 ^{h-j}	86.67 ^g	89.35 ^e	81.58 ^{de}
Среднее (AC)		65.22^h	77.78^f	80.89^e	84.44^d	77.08^{c*}
Среднее (BC)	мочевина	70.44 ^f	76.89 ^e	81.33 ^d	84.89 ^c	78.39^{c**}
	сульфат аммония	70.56 ^f	83.11 ^{cd}	87.56 ^b	88.89 ^b	82.53^{b**}
	наноудобрение	70.78 ^f	89.33 ^b	92.00 ^a	93.78 ^a	86.47^{a**}
Среднее (C)		70.59^d	83.11^c	86.96^b	89.19^a	

3.1.2. Длина и диаметр стебля

Полученные результаты (табл.5 и 6) показали, что вымачивание и обработка семян горького миндаля солевым раствором приводит к уменьшению длины и диаметра стебля при увеличении концентрации раствора соли с 1 до 5 dsm⁻¹.

Таблица 4 – Влияние внесения удобрений на скорость прорастания семян горького миндаля в условиях засоления

Обработки		Без внесения	25 %	50 %	100 %	Среднее (АВ)
концентрация солей 1dsm ⁻¹	мочевина	4.76 ^{ef}	7.12 ^d	7.14 ^d	7.16 ^d	6.55 ^{cd}
	сульфат аммония	5.00 ^{ef}	9.52 ^c	9.52 ^c	9.54 ^c	8.93 ^{bc}
	наноудобрение	4.89 ^{ef}	14.29 ^a	14.29 ^a	14.31 ^a	11.94 ^a
Среднее (АС)		4.88^{de}	10.32^a	10.32^a	10.34^a	8.96^{a*}
концентрация солей 3dsm ⁻¹	мочевина	3.19 ^{gh}	4.76 ^{e-g}	4.76 ^{e-g}	5.55 ^{d-f}	4.57 ^{de}
	сульфат аммония	3.03 ^h	6.35 ^{de}	7.14 ^d	7.14 ^d	5.91 ^d
	наноудобрение	2.89 ^{hi}	11.91 ^b	11.91 ^b	14.29 ^a	10.25 ^{ab}
Среднее (АС)		3.04^d	7.67^c	7.94^c	8.99^b	6.91^{b*}
концентрация солей 5dsm ⁻¹	мочевина	1.27 ^{ij}	3.97 ^{f-h}	4.36 ^{f-h}	4.76 ^{e-g}	3.59 ^e
	сульфат аммония	1.19 ^j	3.97 ^{f-h}	4.36 ^{f-h}	4.76 ^{e-g}	3.57 ^e
	наноудобрение	1.16 ^j	5.55 ^{def}	7.14 ^d	7.84 ^d	5.25 ^{de}
Среднее (АС)		1.21^g	4.50^e	5.28^{de}	5.55^d	4.14[*]
Среднее (ВС)	мочевина	3.07 ^f	5.29 ^e	5.42 ^e	5.82 ^{de}	4.90 ^{b**}
	сульфат аммония	3.08 ^f	6.61 ^{cd}	7.01 ^c	7.14 ^c	5.96 ^{b**}
	наноудобрение	2.98 ^f	10.58 ^b	11.11 ^{ab}	11.91 ^a	9.15 ^{a**}
Среднее (С)		3.04^c	7.49^b	7.84^{ab}	8.28^a	

Таблица 5 – Влияние внесения удобрений на длину стебля (см) саженцев горького миндаля в условиях засоления

Обработки		Без внесения	25 %	50 %	100 %	Среднее АВ
концентрация солей 1dsm ⁻¹	мочевина	10.07 ^r	19.33 ^{h-j}	20.33 ^{g-i}	21.00 ^{fh}	17.68 ^c
	сульфат аммония	10.33 ^r	22.67 ^{ef}	24.00 ^{de}	25.67 ^{cd}	20.67 ^b
	наноудобрение	10.00 ^r	28.67 ^b	28.67 ^b	31.33 ^a	24.67 ^a
Среднее (АС)		10.13^g	23.56^b	24.33^b	26.00^a	21.01^{a*}
концентрация солей 3dsm ⁻¹	мочевина	7.33 ^s	12.67 ^{n-q}	13.00 ^{n-p}	13.00 ^{n-p}	11.50 ^e
	сульфат аммония	7.00 st	13.56 ^{lmn}	14.67 ^{lm}	14.87 ^{lmn}	12.50 ^{de}
	наноудобрение	7.33 ^s	18.33 ^{i-k}	22.33 ^{e-g}	26.67 ^{bc}	18.67 ^{bc}
Среднее (АС)		7.22^h	14.89^e	16.67^d	18.11^c	14.22^{b*}
концентрация солей 5dsm ⁻¹	мочевина	4.67 ^u	10.67 ^{qr}	11.31 ^{p-r}	11.35 ^{p-r}	9.50 ^f
	сульфат аммония	5.00 ^{tu}	12.00 ^{o-r}	13.33 ^{m-}	14.67 ^{lmn}	11.50 ^{ef}
	наноудобрение	4.67 ^u	15.33 ^{lm}	16.33 ^{kl}	17.67 ^{jk}	13.50 ^d
Среднее (АС)		4.78ⁱ	12.67^f	13.66^{ef}	14.56^e	12.89^{c*}
Среднее (ВС)	мочевина	7.36 ^h	14.22 ^g	14.89 ^{fg}	15.11 ^{fg}	12.78 ^{c**}
	сульфат аммония	7.44 ^h	16.11 ^{ef}	17.31 ^{de}	18.33 ^d	14.81 ^{b**}
	наноудобрение	7.33 ^h	20.78 ^c	22.44 ^b	25.22 ^a	18.94 ^{a**}
Среднее (С)		7.38^d	17.04^c	18.22^b	19.56^a	

Использование удобрений приводит к увеличению этих параметров. При этом, как и в предыдущих случаях, использование наноудобрения дает максимальную прибавку по сравнению с обработками мочевиной и сульфатом аммония.

3.2. Влияние нано-удобрения на вегетативные признаки и химический состав проростков горького миндаля в условиях засоления

3.2.1. Скорость увеличения диаметра стебля и высоты растения

При обработке проростков раствором с максимальной концентрацией солей (5dsm^{-1}) (в период прорастания и во время первых стадий роста) использование наноудобрения на 100% превосходило по своему положительному воздействию все другие варианты, включая контроль (Табл.7,8).

Таблица 6 – Влияние внесения удобрений на диаметр стебля саженцев горького миндаля (мм) в условиях засоления

Обработки		Без внесения	25 %	50 %	100 %	Среднее (AB)
концентрация солей 1dsm^{-1}	мочевина	1.80 ^{o-r}	2.40 ^{i-m}	2.73 ^{e-j}	2.77 ^{e-i}	2.43 ^{de}
	сульфат аммония	1.90 ^{no-p}	2.93 ^{d-h}	3.00 ^{c-g}	3.10 ^{c-f}	2.73 ^{bc}
	наноудобрение	1.87 ^{n-q}	3.40 ^c	4.10 ^b	4.77 ^a	3.53 ^a
Среднее (AC)		1.86^g	2.91^c	3.28^b	3.54^a	3.00^{a*}
концентрация солей 3dsm^{-1}	мочевина	1.63 ^{p-s}	2.33 ^{j-m}	2.17 ^{l-o}	2.19 ^{l-o}	2.08 ^{fg}
	сульфат аммония	1.70 ^{r-s}	2.40 ^{i-m}	2.43 ^{i-m}	2.50 ^{i-l}	2.26 ^{def}
	наноудобрение	1.73 ^{r-s}	2.70 ^{f-j}	3.13 ^{cde}	3.90 ^b	2.87 ^b
Среднее (AC)		1.69^g	2.48^{ef}	2.58^{de}	2.86^c	2.40^{b*}
концентрация солей 5dsm^{-1}	мочевина	1.37 ^s	2.03 ^{m-p}	2.17 ^{l-o}	2.27 ^{k-n}	1.96 ^g
	сульфат аммония	1.47 ^{qrs}	2.33 ^{j-m}	2.37 ^{i-m}	2.53 ^{h-l}	2.18 ^{efg}
	наноудобрение	1.40 ^{rs}	2.57 ^{h-l}	2.60 ^{g-k}	3.33 ^{cd}	2.48 ^{cd}
Среднее (AC)		1.41^h	2.31^f	2.38^{ef}	2.71^{cd}	2.20^{b*}
Среднее (BC)	мочевина	1.60 ^h	2.26 ^g	2.36 ^{fg}	2.40 ^{efg}	2.15 ^{c**}
	сульфат аммония	1.69 ^h	2.56 ^{def}	2.60 ^{de}	2.71 ^{cd}	2.38 ^{b**}
	наноудобрение	1.67 ^h	2.89 ^c	3.28 ^b	4.00 ^a	2.95 ^{a**}
Среднее (C)		1.65^d	2.56^c	2.74^b	3.03^a	

Таблица 7 – Влияние внесения удобрений на прирост диаметра стебля (мм) проростков горького миндаля при использовании раствора соли 5dsm^{-1}

обработки, которые имели место в период прорастания	использование удобрений	Без внесения	25 %	50 %	100 %	Среднее (AB)
Концентрация солей 1dsm^{-1}	мочевина	1.40 ^u	2.30 ^{qr}	2.35 ^q	2.50 ^p	2.14 ⁱ
	сульфат аммония	1.45 ^u	2.50 ^p	2.60 ^{op}	2.70 ^{no}	2.31 ^h
	наноудобрение	1.40 ^u	2.65 ^{no}	2.75 ^{mn}	2.85 ^{lm}	2.41 ^g
Среднее (AC)		1.42^l	2.48ⁱ	2.57^h	2.68^g	2.29^{c*}
Концентрация солей 3dsm^{-1}	мочевина	1.85 ^t	2.95 ^{kl}	3.05 ^{jk}	3.25 ^{hi}	2.78 ^f
	сульфат аммония	1.75 ^t	3.15 ^{ij}	3.35 ^h	3.55 ^g	2.95 ^e
	наноудобрение	1.73 ^t	3.50 ^g	3.70 ^f	3.95 ^e	3.22 ^d
Среднее (AC)		1.78^k	3.20^f	3.37^e	3.58^d	2.98^{b*}
концентрация солей 5dsm^{-1}	мочевина	2.10 ^s	4.05 ^e	4.20 ^d	4.40 ^c	3.69 ^c
	сульфат аммония	2.20 ^{rs}	4.35 ^c	4.40 ^c	4.75 ^b	3.93 ^b
	наноудобрение	2.21 ^{rs}	4.45 ^c	4.80 ^b	5.30 ^a	4.20 ^a
Среднее (AC)		2.18^j	4.28^c	4.47^b	4.82^a	3.94^{a*}
Среднее (BC)	мочевина	1.78 ⁱ	3.10 ^h	3.20 ^g	3.38 ^{ef}	2.87 ^{c**}
	сульфат аммония	1.80 ⁱ	3.33 ^f	3.45 ^e	3.67 ^c	3.06 ^{b**}
	наноудобрение	1.79 ⁱ	3.53 ^d	3.75 ^b	4.03 ^a	3.28 ^{a**}
Среднее (C)		1.79^d	3.32^c	3.47^b	3.69^a	

По данным других авторов, подобным же образом в присутствии наночастиц улучшалась защита проростков гороха от окислительного стресса, регуляция

системы антиоксидантной защиты и накопление питательных элементов, что способствовало улучшению роста проростков в стрессовых условиях (Tripathi et al., 2015).

Таблица 8 – Влияние внесения удобрений на прирост высоты проростков горького миндаля (см) при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

обработки, которые имели место в период прорастания	использование удобрений	Без внесения	25 %	50 %	100 %	Среднее (AB)
концентрация солей 1dsm ⁻¹	мочевина	16.50 ^r	34.00 ^p	34.50 ^{op}	36.00 ^{n-p}	30.25 ^g
	сульфат аммония	16.0 ^r	35.50 ^{n-p}	36.50 ^{m-p}	37.50 ^{m-o}	31.38 ^{fg}
	наноудобрение	18.50 ^r	36.00 ^{n-p}	38.00 ^{mn}	41.50 ^{kl}	33.50 ^f
Среднее (AC)		17.00^j	35.17^h	36.33^{gh}	38.33^g	31.71^{c*}
концентрация солей 3dsm ⁻¹	мочевина	28.0 ^q	39.50 ^{lm}	44.00 ^{jk}	49.00 ⁱ	40.13 ^e
	сульфат аммония	27.50 ^q	46.50 ^{ij}	53.00 ^h	55.00 ^{f-h}	45.50 ^d
	наноудобрение	29.50 ^q	54.00 ^{gh}	55.50 ^{e-h}	59.00 ^d	49.50 ^c
Среднее (AC)		28.33ⁱ	46.67^f	50.83^e	54.33^d	45.04^{b*}
концентрация солей 5dsm ⁻¹	мочевина	33.50 ^p	56.50 ^{d-g}	58.00 ^{d-f}	58.50 ^{de}	51.63 ^{bc}
	сульфат аммония	35.00 ^{n-p}	57.50 ^{d-f}	59.00 ^d	62.50 ^{bc}	53.50 ^b
	наноудобрение	35.50 ^{n-p}	59.50 ^{cd}	63.50 ^b	68.50 ^a	56.75 ^a
Среднее (AC)		34.67^h	57.83^c	60.17^b	63.17^a	53.96^{a*}
Среднее (BC)	мочевина	26.00 ^h	43.33 ^g	45.50 ^f	47.83 ^{de}	40.67 ^{c**}
	сульфат аммония	26.17 ^h	46.50 ^{ef}	49.50 ^{cd}	51.67 ^b	43.46 ^{b**}
	наноудобрение	27.83 ^h	49.83 ^c	52.33 ^b	56.33 ^a	46.58 ^{a*}
Среднее (C)		26.67^d	46.56^c	49.11^b	51.94^a	

3.2.2. Количество листьев на растении

Полученные нами результаты подтверждают результаты аналогичных исследований других авторов при использовании наноудобрений на других растениях (Oliveira et al., 2016): при увеличении дозы наноудобрений количество листьев на растении увеличивается с достижением максимума в сильно засоленных условиях (5 dsm⁻¹) (Табл. 9).

3.2.3. Сухая масса листьев и листовая поверхность

Обработка проростков горького миндаля с использованием удобрений мочевины и сульфата аммония в сочетании с увеличением концентрации солевого раствора (от 1 и 3dsm⁻¹ в период прорастания до 5dsm⁻¹ после начала активного роста) показала линейное уменьшение показателей площади листьев и сухой массы листьев с одного растения (табл.10 и 11). Напротив, внесение 50% и 100% наноудобрения увеличивало сухую массу листьев и их площадь. При этом существенных различий между ними при наибольшей концентрации соли в растворе (5dsm⁻¹) не наблюдалось.

3.2.4. Содержание хлорофилла а, b и каротиноидов

Применение наноудобрения в концентрации 100% в варианте с семенами, замачиваемыми при высокой (5dsm⁻¹) концентрации соли в период прорастания с

последующей обработкой раствором той же концентрации в период активного роста, превосходило по своему влиянию на содержание фотосинтетических пигментов все другие обработки, включая контроль (табл.12-14).

Таблица 9 – Влияние внесения удобрений на количество листьев проростков горького миндаля при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

обработки, которые имели место в период прорастания семян	использование удобрений	Без внесения	25 %	50 %	100 %	Среднее (AB)
концентрация солей 1dsm ⁻¹	мочевина	23.0 ^u	33.5 ^s	36.0 ^r	36.5 ^r	32.25 ⁱ
	сульфат аммония	23.0 ^u	39.0 ^q	42.5 ^p	45.5 ^{no}	37.50 ^h
	наноудобрение	24.0 ^u	44.0 ^{op}	47.0 ⁿ	49.5 ^m	41.13 ^g
Среднее (AC)		23.33^l	38.83ⁱ	41.83^h	43.83^g	36.96^{c*}
концентрация солей 3dsm ⁻¹	мочевина	27.0 ^t	52.5 ^l	53.5 ^l	54.5 ^{kl}	46.88 ^f
	сульфат аммония	27.5 ^t	56.0 ^{jk}	57.5 ^j	60.0 ⁱ	50.25 ^e
	наноудобрение	29.0 ^t	60.0 ⁱ	63.0 ^h	65.0 ^h	54.25 ^d
Среднее (AC)		27.83^k	56.17^f	58.00^e	59.83^d	50.46^{b*}
концентрация солей 5dsm ⁻¹	мочевина	37.5 ^{qr}	65.0 ^h	68.0 ^g	73.0 ^f	60.88 ^c
	сульфат аммония	36.0 ^r	74.0 ^f	76.5 ^e	79.5 ^d	66.50 ^b
	наноудобрение	36.0 ^r	82.5 ^c	87.5 ^b	90.5 ^a	74.13 ^a
Среднее (AC)		36.50^j	73.83^c	77.33^b	81.00^a	67.17^{a*}
Среднее (BC)	мочевина	29.17 ^{ij}	50.33 ^h	52.5 ^g	54.67 ^f	46.67 ^{c**}
	сульфат аммония	28.33 ^j	56.33 ^e	58.83 ^d	61.67 ^c	51.42 ^{b**}
	наноудобрение	29.67 ⁱ	62.17 ^c	65.83 ^b	68.33 ^a	56.50 ^{a**}
Среднее (C)		29.22^d	56.28^c	59.06^b	61.56^a	

Таблица 10 – Влияние внесения удобрений на площадь листьев (см²) проростков горького миндаля при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

обработки, которые имели место в период прорастания семян	использование удобрений	Без внесения	25 %	50 %	100 %	Среднее (AB)
концентрация солей 1dsm ⁻¹	мочевина	38.4 ^x	70.42 ^u	75.75 ^{tu}	77.52 ^{tu}	65.52 ⁱ
	сульфат аммония	37.45 ^x	83.96 st	92.92 ^{rs}	99.96 ^{qr}	78.57 ^h
	наноудобрение	40.46 ^{wx}	98.28 ^{qr}	107.6 ^q	121.3 ^p	91.92 ^g
Среднее (AC)		55.55ⁱ	129.7^h	143.4^g	154.2^f	78.67^{c*}
концентрация солей 3dsm ⁻¹	мочевина	50.38 ^v	123.7 ^{op}	133.6 ^{no}	138.9 ^{mn}	111.6 ^f
	сульфат аммония	51.16 ^v	147.5 ^m	157.9 ^l	173.5 ^k	132.5 ^e
	наноудобрение	54.53 ^v	176.1 ^{jk}	186.1 ^{ij}	222.4 ^h	159.8 ^d
Среднее (AC)		55.19ⁱ	155.7^f	180.1^e	200.8^d	134.6^{b*}
концентрация солей 5dsm ⁻¹	мочевина	77.87 ^{tu}	195 ⁱ	220.8 ^h	246.2 ^f	185 ^c
	сульфат аммония	76.94 ^{tu}	235.6 ^g	289.5 ^e	328.9 ^d	232.7 ^b
	наноудобрение	75.68 ^{tu}	351.2 ^c	394.1 ^b	406.5 ^a	306.9 ^a
Среднее (AC)		56.89ⁱ	208.5^c	229.3^b	250.1^a	241.5^{a*}
Среднее (BC)	мочевина	38.77 ^k	84.22 ⁱ	92.09 ^h	99.61 ^g	120.7 ^{c**}
	сульфат аммония	52.02 ^k	149.1 ^f	159.2 ^e	178.3 ^d	147.9 ^{b**}
	наноудобрение	76.83 ^j	260.6 ^c	301.5 ^b	327.2 ^a	186.2 ^{a**}
Среднее (C)		55.87^d	164.6^c	184.3^b	201.7^a	

Таблица 11– Влияние внесения удобрений на сухую массу листьев (%) проростков горького миндаля при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

обработки, которые имели место в период прорастания семян	использование удобрений	Без внесения	25 %	50 %	100 %	Среднее (AB)
концентрация солей 1dsm ⁻¹	мочевина	25.44 ^u	28.02 ^s	28.32 ^{rs}	28.53 ^{q-s}	27.58 ⁱ
	сульфат аммония	25.89 ^u	28.86 ^{p-r}	29.17 ^{pq}	29.41 ^{op}	28.33 ^h
	наноудобрение	25.82 ^u	29.52 ^{n-o}	30.08 ^{no}	30.31 ^{mn}	28.93 ^g
Среднее (AC)		25.72ⁱ	28.80^f	29.19^{ef}	29.42^e	28.28^{c*}
концентрация солей 3dsm ⁻¹	мочевина	26.80 ^t	30.06 ^{no}	30.91 ^{lm}	31.48 ^{j-l}	29.81 ^f
	сульфат аммония	26.72 ^t	31.41 ^{kl}	31.93 ^{i-k}	32.30 ^{hi}	30.59 ^e
	наноудобрение	26.85 ^t	32.22 ^{ij}	33.04 ^{f-h}	33.33 ^{e-g}	31.36 ^d
Среднее (AC)		26.79^h	31.23^d	31.96^c	32.37^c	30.59^{b*}
концентрация солей 5dsm ⁻¹	мочевина	27.83 ^s	32.67 ^{gi}	33.49 ^{ef}	33.83 ^{d-f}	31.95 ^c
	сульфат аммония	28.08 ^{rs}	33.86 ^{de}	34.53 ^{cd}	35.04 ^c	32.88 ^b
	наноудобрение	28.13 ^{rs}	35.10 ^{bc}	35.90 ^{ab}	35.97 ^a	33.78 ^a
Среднее (AC)		28.01^g	33.88^b	34.64^a	34.95^a	32.87^{a*}
Среднее (BC)	мочевина	26.69 ^f	30.25 ^e	30.90 ^d	31.28 ^{cd}	29.78^{c**}
	сульфат аммония	26.90 ^f	31.38 ^c	31.88 ^b	32.25 ^b	30.60^{b**}
	наноудобрение	26.93 ^f	32.28 ^b	33.01 ^a	33.20 ^a	31.36^{a**}
Среднее (C)		26.84^d	31.30^c	31.93^b	32.24^a	

Таблица 12 – Влияние внесения удобрений на содержание хлорофилла а (мг/г) у проростков горького миндаля при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

обработки, которые имели место в период прорастания семян	использование удобрений	Без внесения	25 %	50 %	100 %	Среднее (AB)
концентрация солей 1dsm ⁻¹	мочевина	1.54 ^o	2.04 ^m	2.12 ^{lm}	2.13 ^{k-m}	1.96 ^g
	сульфат аммония	1.58 ^o	2.08 ^{lm}	2.15 ^{k-m}	2.15 ^{k-m}	1.99 ^g
	наноудобрение	1.52 ^o	2.19 ^{kl}	2.26 ^{jk}	2.39 ⁱ	2.09 ^{fg}
Среднее (AC)		1.54ⁱ	2.10^g	2.17^{fg}	2.22^f	2.01^{c*}
концентрация солей 3dsm ⁻¹	мочевина	1.79 ⁿ	2.32 ^{ij}	2.36 ^{ij}	2.45 ^{hi}	2.23 ^{ef}
	сульфат аммония	1.76 ⁿ	2.37 ^{ij}	2.57 ^{gh}	2.68 ^{fg}	2.34 ^e
	наноудобрение	1.80 ⁿ	2.58 ^g	2.73 ^{ef}	2.89 ^d	2.50 ^d
Среднее (AC)		1.78^h	2.42^e	2.55^d	2.67^c	2.36^{b*}
концентрация солей 5dsm ⁻¹	мочевина	2.18 ^{kl}	2.69 ^{fg}	2.85 ^{de}	2.89 ^d	2.65 ^c
	сульфат аммония	2.16 ^{klm}	2.83 ^{de}	3.12 ^{bc}	3.21 ^b	2.83 ^b
	наноудобрение	2.18 ^{kl}	3.06 ^c	3.41 ^a	3.39 ^a	3.01 ^a
Среднее (AC)		2.17^{fg}	2.86^b	3.12^a	3.16^a	2.83^{a*}
Среднее (BC)	мочевина	1.83 ^f	2.35 ^e	2.44 ^d	2.49 ^d	2.28^{c**}
	сульфат аммония	1.83 ^f	2.43 ^d	2.61 ^c	2.68 ^c	2.38^{b**}
	наноудобрение	1.83 ^f	2.61 ^c	2.80 ^b	2.89 ^a	2.53^{a**}
Среднее (C)		1.83^d	2.46^c	2.62^b	2.68^a	

Таким образом, наноудобрение способствовало в большей степени уменьшению отрицательного влияния солевого стресса на вегетативные признаки и

последующее содержание фотосинтетических пигментов в листьях горького миндаля.

Таблица 13 – Влияние внесения удобрений на содержание хлорофилла b (мг/г) в проростках горького миндаля при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

обработки, которые имели место в период прорастания семян	использование удобрений	Без внесения	25 %	50 %	100 %	Среднее (AB)
концентрация солей 1dsm ⁻¹	Мочевина	0.51 ^v	0.74 st	0.77 ^{q-t}	0.80 ^{p-s}	0.71 ^g
	сульфат аммония	0.52 ^v	0.75 ^{r-t}	0.81 ^{p-r}	0.83 ^{o-q}	0.73 ^g
	наноудобрение	0.52 ^v	0.77 ^{q-t}	0.88 ^{m-o}	0.91 ^{lm}	0.77 ^f
Среднее (AC)		0.52ⁱ	0.75^g	0.82^f	0.85^f	0.73[*]
концентрация солей 3dsm ⁻¹	мочевина	0.63 ^u	0.84 ^{n-p}	0.89 ^{m-o}	0.95 ^{j-l}	0.83 ^e
	сульфат аммония	0.65 ^u	0.90 ^{l-n}	0.98 ^{i-k}	1.05 ^{gh}	0.89 ^d
	наноудобрение	0.64 ^u	0.94 ^{k-m}	1.18 ^{c-e}	1.23 ^c	0.99 ^c
Среднее (AC)		0.64^h	0.89^e	1.01^d	1.08^c	0.9^{b*}
концентрация солей 5dsm ⁻¹	мочевина	0.74 ^t	0.99 ^{h-k}	1.01 ^{h-j}	1.12 ^{ef}	0.96 ^c
	сульфат аммония	0.75 st	1.04 ^{g-i}	1.16 ^{de}	1.21 ^{cd}	1.04 ^b
	наноудобрение	0.75 ^{r-t}	1.09 ^{fg}	1.35 ^b	1.42 ^a	1.15 ^a
Среднее (AC)		0.74^g	1.04^d	1.17^b	1.25^a	1.05^{a*}
Среднее (BC)	мочевина	0.63 ⁱ	0.86 ^h	0.89 ^{gh}	0.96 ^{de}	0.83^{c**}
	сульфат аммония	0.64 ⁱ	0.90 ^{fg}	0.98 ^d	1.03 ^c	0.89^{b**}
	наноудобрение	0.63 ⁱ	0.93 ^{ef}	1.14 ^b	1.19 ^a	0.97^{a**}
Среднее (C)		0.63^d	0.89^c	1.00^b	1.06^a	

Таблица 14 – Влияние внесения удобрений на содержание каротина (мг/г) в проростках горького миндаля при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

обработки, которые имели место в период прорастания семян	использование удобрений	Без внесения	25 %	50 %	100 %	Среднее (AB)
концентрация солей 1dsm ⁻¹	мочевина	0.46 ^p	0.69 ^{m-o}	0.71 ^{l-o}	0.76 ^{k-m}	0.65 ^f
	сульфат аммония	0.46 ^p	0.72 ^{k-n}	0.77 ^{j-}	0.80 ^{i-m}	0.69 ^f
	наноудобрение	0.46 ^p	0.74 ^{k-m}	0.82 ^{h-k}	0.93 ^{f-h}	0.74 ^e
Среднее (AC)		0.46^h	0.72^f	0.77^{d-f}	0.83^d	0.69^{c*}
концентрация солей 3dsm ⁻¹	мочевина	0.60 ^o	0.76 ^{j-m}	0.81 ^{i-l}	0.89 ^{f-i}	0.76 ^e
	сульфат аммония	0.60 ^o	0.82 ^{h-l}	0.91 ^{f-i}	0.94 ^{e-g}	0.82 ^d
	наноудобрение	0.62 ^{no}	0.87 ^{g-j}	1.07 ^{cd}	1.20 ^b	0.94 ^c
Среднее (AC)		0.61^g	0.82^{de}	0.93^c	1.01^b	0.84^{b*}
концентрация солей 5dsm ⁻¹	мочевина	0.75 ^{k-m}	0.90 ^{f-i}	0.99 ^{d-f}	1.05 ^{de}	0.92 ^c
	сульфат аммония	0.76 ^{k-m}	0.92 ^{f-h}	1.17 ^{bc}	1.18 ^{bc}	1.01 ^b
	наноудобрение	0.77 ^{j-m}	1.09 ^{b-d}	1.32 ^a	1.36 ^a	1.13 ^a
Среднее (AC)		0.76^{ef}	0.97^{bc}	1.16^a	1.20^a	1.02^{a*}
Среднее (BC)	мочевина	0.60 ^f	0.78 ^e	0.83 ^e	0.90 ^d	0.79^{c**}
	сульфат аммония	0.61 ^f	0.82 ^e	0.95 ^{cd}	0.97 ^c	0.84^{b**}
	наноудобрение	0.61 ^f	0.90 ^d	1.07 ^b	1.16 ^a	0.94^{a**}
Среднее (C)		0.61^d	0.83^c	0.95^b	1.01^a	

3.2.5. Содержание пролина

Результаты, приведенные в Таблице 15, показывают, что проростки, выращиваемые под воздействием высокого солевого стресса в сочетании с внесенным наноудобрением, являются более солеустойчивыми. В проведенных исследованиях не выявлено увеличение содержания пролина в листьях растений из-за стресса при внесении наноудобрений по сравнению с внесением других минеральных удобрений.

Таблица 15 – Влияние внесения удобрения на содержание пролина (мг/г) в проростках горького миндаля при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

обработки, которые имели место в период прорастания семян	использование удобрений	Без внесения	25 %	50 %	100 %	Среднее (AB)
концентрация солей 1dsm ⁻¹	мочевина	0.56 ^a	0.38 ^{de}	0.38 ^e	0.37 ^{ef}	0.42 ^a
	сульфат аммония	0.58 ^a	0.36 ^{e-g}	0.35 ^{f-h}	0.35 ^{gh}	0.41 ^a
	наноудобрение	0.56 ^a	0.34 ^{g-i}	0.34 ^{hi}	0.33 ^{h-j}	0.39 ^{ab}
Среднее (AC)		0.57^a	0.36^d	0.35^e	0.35^f	0.41^{a*}
концентрация солей 3dsm ⁻¹	мочевина	0.46 ^b	0.33 ^{h-j}	0.32 ^{i-k}	0.32 ^{i-k}	0.36 ^{bc}
	сульфат аммония	0.45 ^b	0.31 ^{j-l}	0.31 ^{j-l}	0.31 ^{k-}	0.34 ^c
	наноудобрение	0.45 ^b	0.30 ^{l-n}	0.29 ^{l-o}	0.29 ^{m-}	0.33 ^{cd}
Среднее (AC)		0.45^b	0.31^g	0.31^h	0.30^h	0.34^{b*}
концентрация солей 5dsm ⁻¹	мочевина	0.41 ^c	0.28 ^{m-}	0.27 ^{o-q}	0.27 ^{p-r}	0.30 ^{de}
	сульфат аммония	0.41 ^c	0.26 ^{q-s}	0.25 ^{r-t}	0.24 st	0.29 ^{ef}
	наноудобрение	0.40 ^{cd}	0.23 ^{tu}	0.22 ^{uv}	0.20 ^v	0.26 ^f
Среднее (AC)		0.40^c	0.25ⁱ	0.24^j	0.23^k	0.28^{c*}
Среднее (BC)	мочевина	0.47 ^a	0.33 ^b	0.32 ^b	0.32 ^{bc}	0.36^{a**}
	сульфат аммония	0.48 ^a	0.31 ^{cd}	0.30 ^d	0.30 ^{de}	0.35^{b**}
	наноудобрение	0.47 ^a	0.29 ^{ef}	0.28 ^{fg}	0.27 ^g	0.33^{c**}
Среднее (C)		0.47^a	0.31^b	0.30^c	0.30^c	

3.2.6. Общее содержание углеводов

При внесении наноудобрений наблюдалось повышенное содержание углеводов по отношению к вариантам с внесением мочевины и сульфатно-аммонийного удобрения (Табл. 16). Это увеличение наиболее очевидно только в варианте с высокой концентрацией солевого раствора при прорастании семян (5dsm⁻¹). Внесение наноудобрения улучшало вегетативный рост, увеличивало общее количество листьев, площадь листьев и общее содержание хлорофилла в листьях, что способствовало увеличению скорости процессов фотосинтеза и последующему повышенному накоплению количества углеводов в растениях. В тоже время другие семена, проросшие в вариантах контроля и при низких концентрациях солей, показали меньшую устойчивость и существенно меньшее значение общего содержания углеводов в растениях. Таким образом, внесение наноудобрений уменьшало неблагоприятное воздействие солевого стресса на проростки горького миндаля. Результаты подтверждают выводы более ранних исследований с другими растениями (Giraldo et al., 2014).

Таблица 16 – Влияние внесения удобрений на содержание углеводов (мг/г) в проростках горького миндаля при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

обработки, которые имели место в период прорастания семян	использование удобрений	Без внесения	25 %	50 %	100 %	Среднее (AB)
концентрация солей 1dsm ⁻¹	мочевина	104.0 ^r	146.8 ^p	148.1 ^p	154.9 ^{n-p}	138.4 ^f
	сульфат аммония	110.0 ^r	149.8 ^{op}	161.9 ^{m-o}	163.5 ^{l-n}	146.3 ^f
	наноудобрение	106.2 ^r	162.5 ^{m-o}	177.0 ^{i-k}	178.0 ^{h-k}	155.9 ^e
Среднее (AC)		106.7^j	153.0^g	162.3^f	165.5^f	146.9^{c*}
концентрация солей 3dsm ⁻¹	мочевина	125.3 ^q	169.4 ^{k-m}	170.3 ^{k-m}	175.5 ^{j-l}	160.1 ^e
	сульфат аммония	126.0 ^q	171.8 ^{k-m}	177.1 ^{i-k}	178.0 ^{h-k}	163.2 ^e
	наноудобрение	124.6 ^q	178.9 ^{h-k}	190.7 ^{gh}	193.0 ^{fg}	171.8 ^d
Среднее (AC)		125.3ⁱ	173.4^e	179.4^{de}	182.2^d	165.1^{b*}
концентрация солей 5dsm ⁻¹	мочевина	144.0 ^p	186.3 ^{g-j}	188.6 ^{g-i}	226.0 ^e	186.2 ^c
	сульфат аммония	144.6 ^p	203.7 ^f	234.8 ^{de}	248.5 ^c	207.9 ^b
	наноудобрение	145.7 ^p	241.4 ^{cd}	262.2 ^b	286.4 ^a	233.9 ^a
Среднее (AC)		144.8^h	210.4^c	228.5^b	253.7^a	209.3^{a*}
Среднее (BC)	мочевина	124.4 ^g	167.5 ^f	169.0 ^{ef}	185.5 ^d	161.6 ^{c**}
	сульфат аммония	126.9 ^g	175.1 ^e	191.3 ^{cd}	196.7 ^c	172.5 ^{b**}
	наноудобрение	125.5 ^g	194.3 ^c	210.0 ^b	219.1 ^a	187.2 ^{a**}
Среднее (C)		125.6^d	179^c	190.1^b	200.4^a	

3.2.7. Содержание химических элементов в листьях растений

3.2.7.1. Содержание азота и фосфора в листьях растений

Содержание азота и фосфора в листьях (рис.1 и 2) при внесении 50% и 100% наноудобрения на стадии прорастания и при обработке самой высокой концентрацией солевого раствора 5dsm⁻¹ превосходили те же показатели всех других вариантов, включая контроль. При одинаковой концентрации солевого раствора внесение 25% наноудобрения давало такие же результаты, как и при обработке 50% и 100% других удобрений без существенных различий между ними.

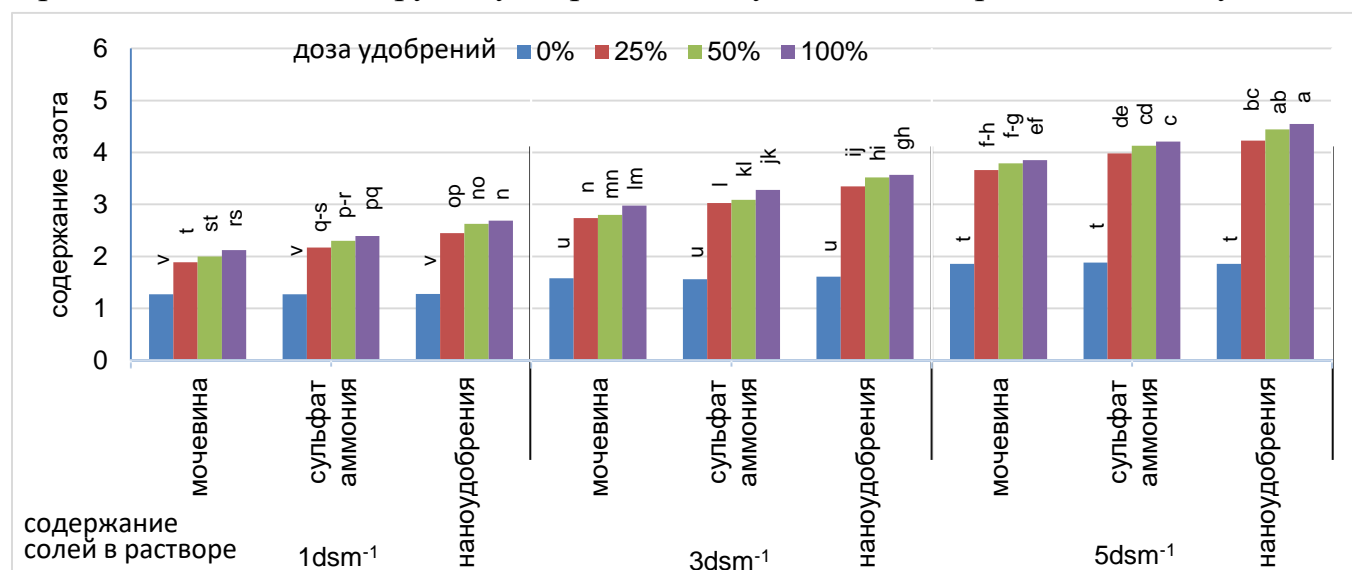


Рисунок 1 – Влияние обработки удобрениями на содержание общего азота (%) в листьях при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

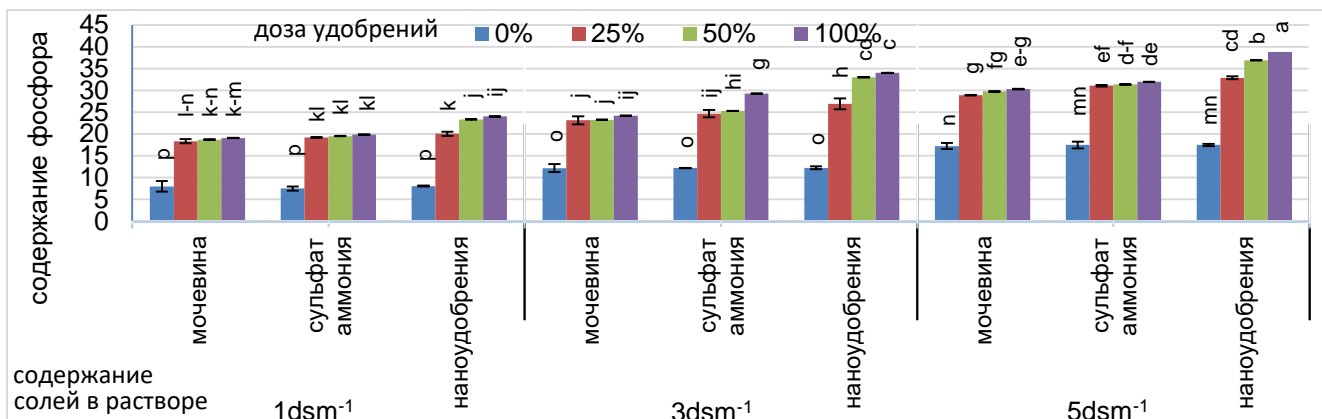


Рисунок 2 – Влияние внесения удобрения на общее содержание фосфора (мг/л) в листьях при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

3.2.7.2. Содержание калия, кальция и магния в листьях растений

В исследованиях стресса растений от засоления других авторов (Rains, 1972) показано, что существует конкуренция в поглощении между ионами Na⁺ и K⁺ при росте растений. Токсичность ионов проявляется в замене K⁺ в биохимических реакциях на Na⁺. В свою очередь, для некоторых ферментов ион K⁺ действует как ко-фактор и не может быть заменен на Na⁺. Высокая концентрация K⁺ также необходима для связывания рибонуклеиновой кислоты (tRNA) с рибосомами и, соответственно, участвует в синтезе белков (Flowers, 2004). В результате наших исследований установлено, что наноудобрения существенно уменьшили негативное воздействие солевого раствора на рост и развитие проростков по сравнению с использованием мочевины и сульфата аммония (рис. 3-5).

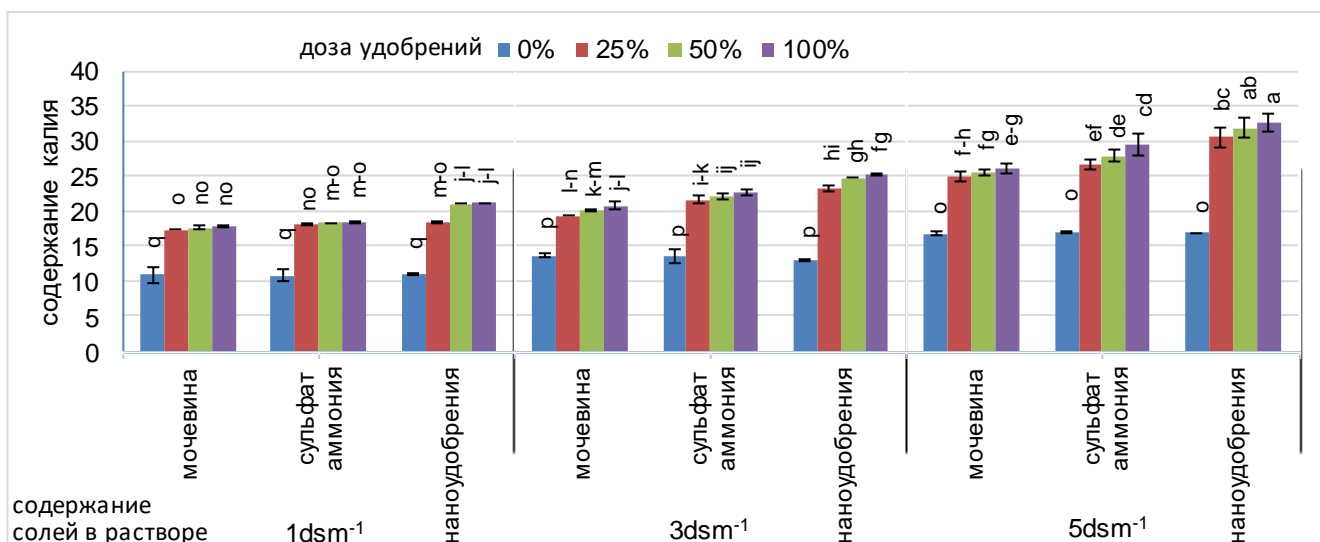


Рисунок 3 – Влияние обработки удобрениями на общее содержание калия (мг/л) в листьях при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

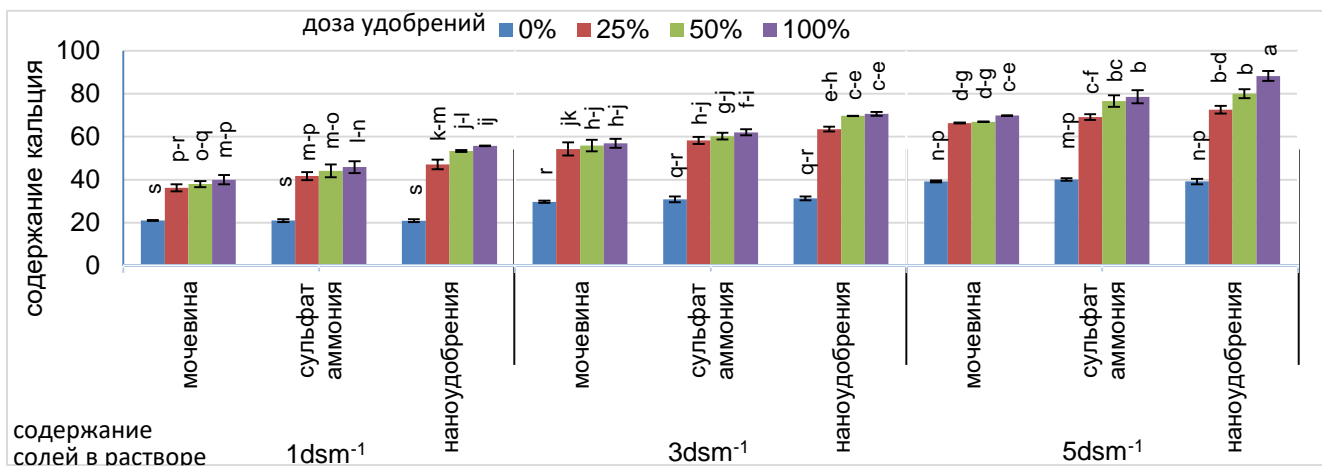


Рисунок 4 – Влияние обработки удобрениями на общее содержание кальция (мг/л) в листьях при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

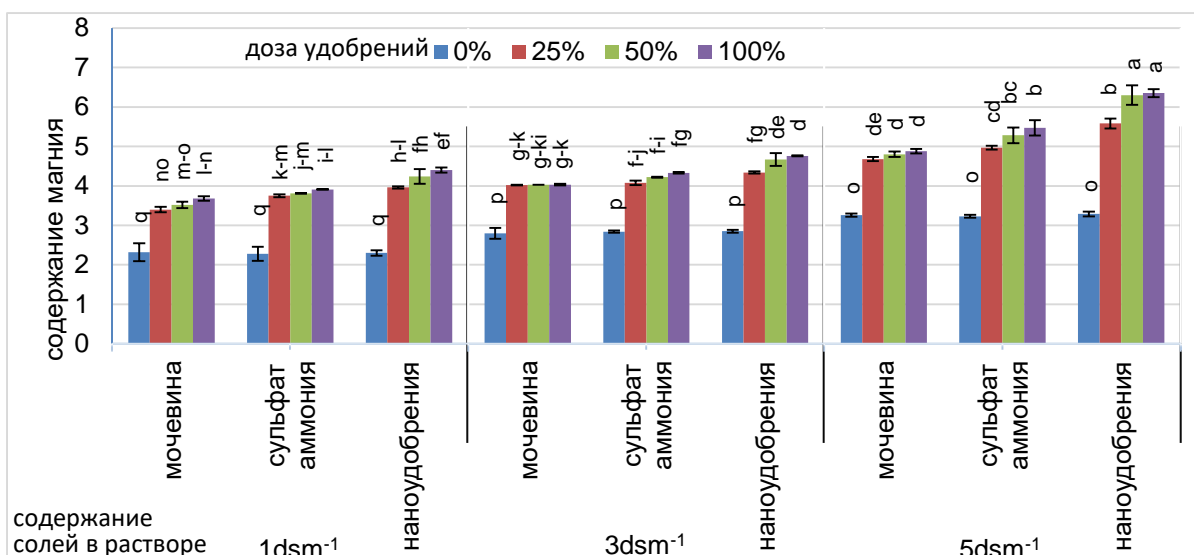


Рисунок 5 – Влияние обработки удобрениями на общее содержание магния (мг/л) в листьях при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

3.2.7.3. Содержание натрия в листьях растений

При обработке наноудобрением наблюдалось существенное снижение поглощения натрия проростками горького миндаля по сравнению с мочевиной и сульфатно-аммониевым удобрением (рис.6), что в свою очередь способствовало уменьшению негативных последствий солевого стресса и улучшало адаптационные механизмы растений. Уменьшение содержания Na в листьях достигалось только у семян, проросших при высоких концентрациях солей в растворе (5 dsm⁻¹). В то же время другие семена, проросшие на контроле и при обработке раствором с низкой концентрации солей, показали меньшую устойчивость, и в их листьях значительно увеличивалось накопление натрия. Наши результаты подтверждают работы Soliman et al. (2015), в которых показано, что, обработка растений моринги наноудобрениями уменьшала воздействие солевого стресса за счет снижения содержания ионов Na⁺ и Cl⁻.

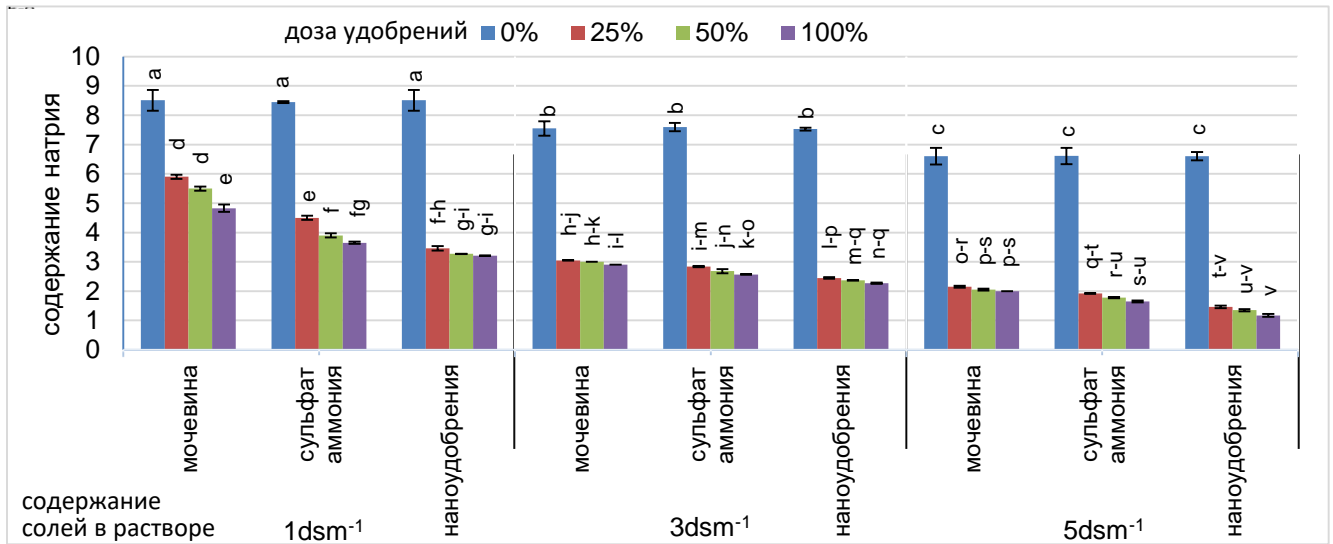


Рисунок 6 – Влияние внесения удобрений на содержание натрия (г/л) в листьях при использовании раствора соли 5 ds^m-1

3.2.8. Содержание химических элементов в субстрате

3.2.8.1. Содержание азота, фосфора, калия и кальция

Низкое поглощение и низкая эффективность потребления веществ растениями из почвы (рис. 7-10) связаны вероятно с солевым стрессом и отрицательной взаимосвязью поглощаемых элементов с катионами и анионами, присутствующими при высоких концентрациях солей в растворе. В субстрате с внесенным наноудобрением отмечалось меньшее содержание питательных веществ, так как все питательные вещества были использованы растениями, в сравнении с внесением традиционных удобрений. Другие удобрения (сульфат аммония и мочевина) имеют существенные потери чистого N, что скорее всего связано с его выщелачиванием и/или испарением.

3.2.8.2. Содержание натрия в почвенном субстрате

Применение наноудобрения в сочетании с максимальной концентрацией раствора солей 5 ds^m-1 в период прорастания и после проращивания (рис.11), значительно снизило поглощение натрия. Содержание Ca⁺ в наноудобрении, по-видимому, способствовало предотвращению поглощения ионов натрия и увеличивало поглощение калия (Lahaie, 1971). Таким образом, применение наноудобрений смягчает воздействие стресса в условиях засоления на проростки горького миндаля за счет большего остаточного накопления ионов Na⁺ в почвенном субстрате по сравнению с вариантами с внесением сульфата аммония и мочевины.

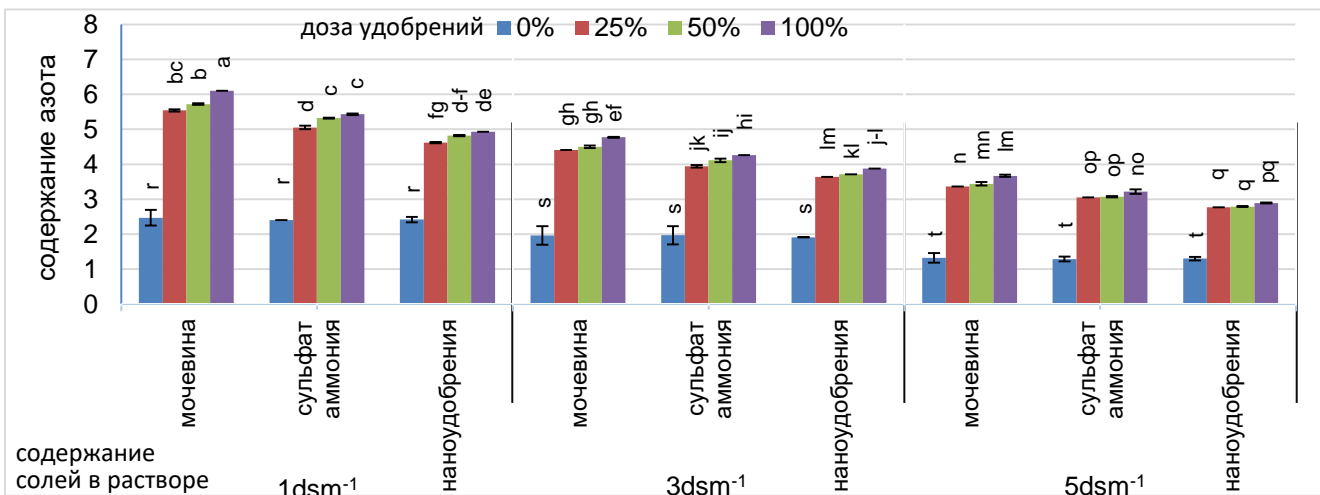


Рисунок 7 – Влияние внесения удобрения на содержание общего азота (%) в почвенном субстрате при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

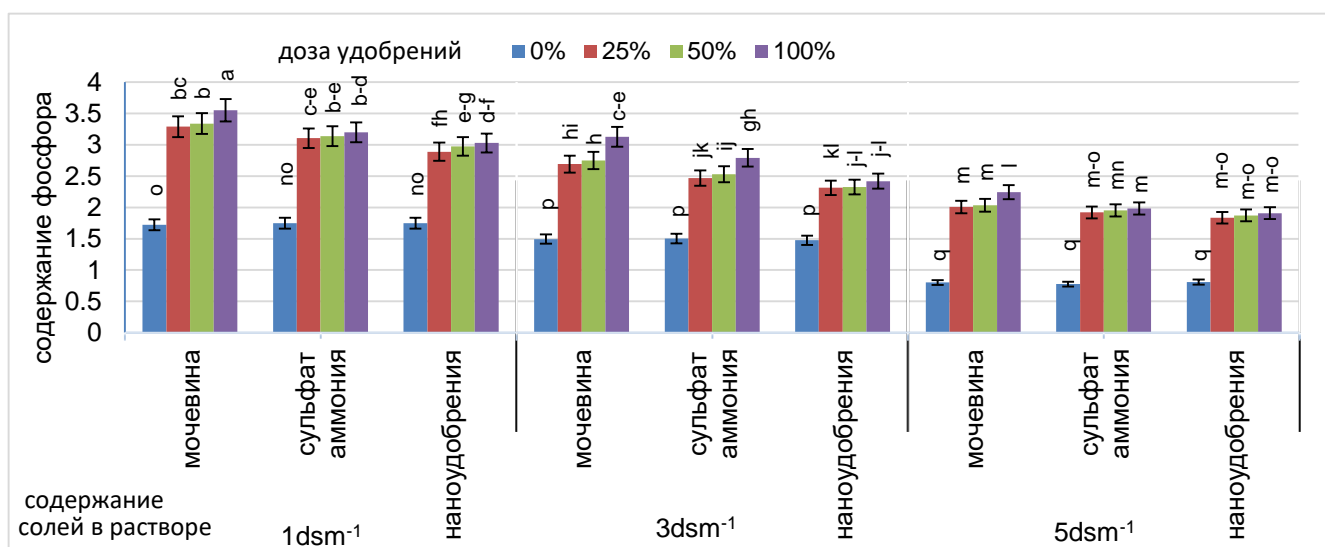


Рисунок 8 – Влияние внесения удобрения на общее содержание фосфора (%) в почвенном субстрате при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

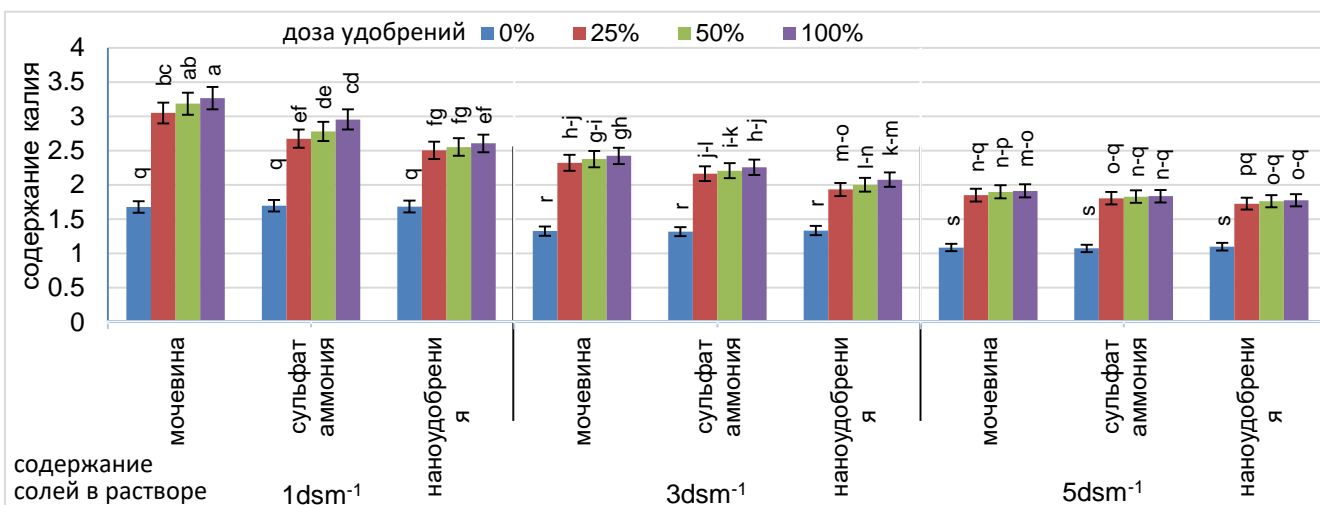


Рисунок 9 – Влияние внесения удобрения на общее содержание калия (%) в почвенном субстрате при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

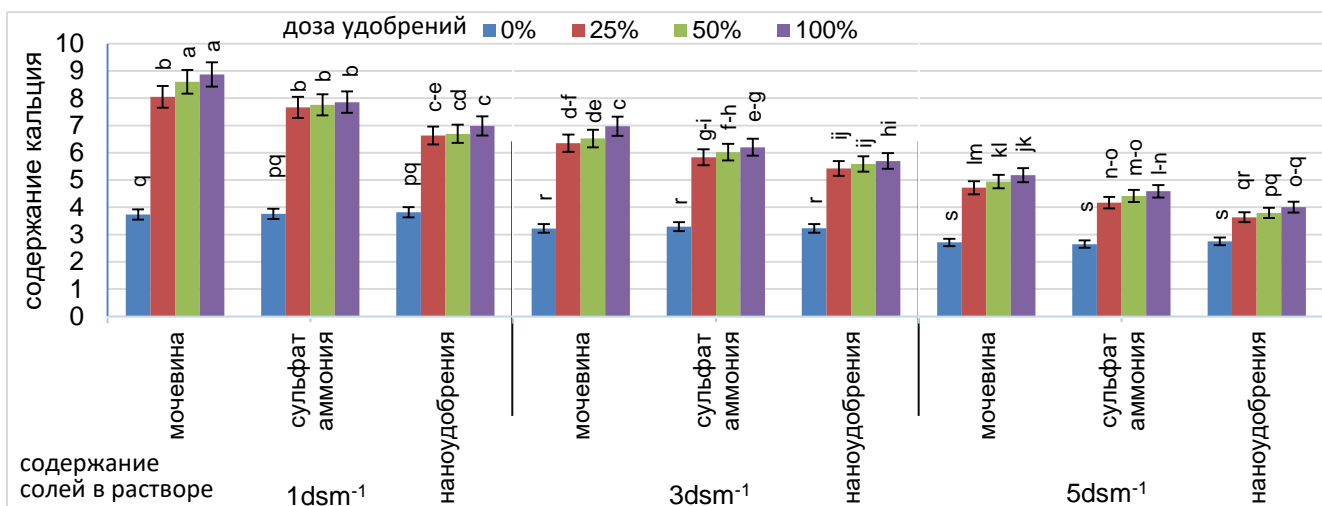


Рисунок 10 – Влияние внесения удобрения на общее содержание кальция (%) в почвенном субстрате при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

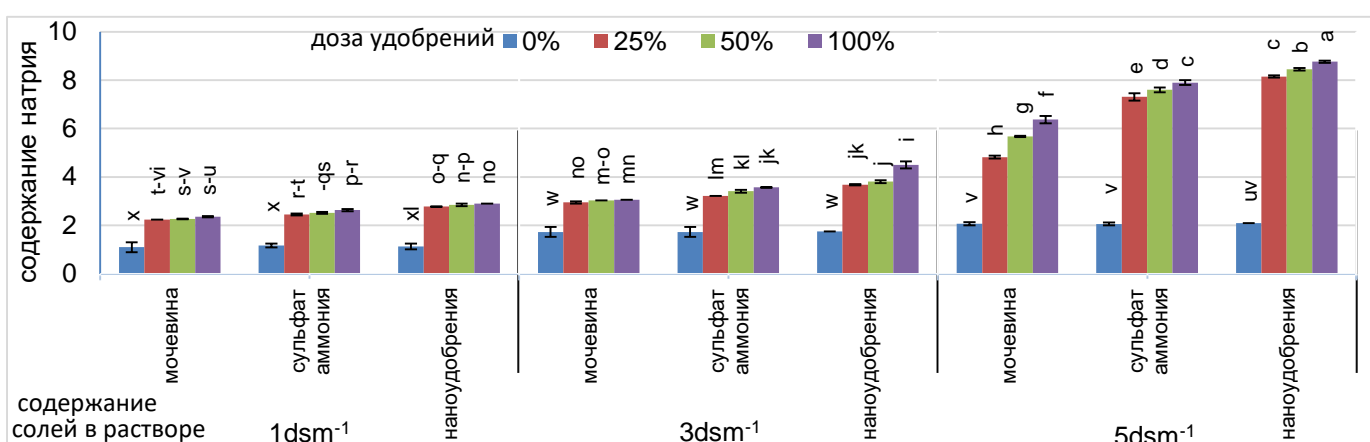


Рисунок 11 – Влияние внесения удобрений на общее содержание натрия (%) в почвенном субстрате при использовании раствора соли 5 dsm⁻¹

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе литературного обзора был сделан вывод о том, что наиболее перспективным для задач исследования является использование в качестве азотного наноудобрения диспергированной мочевины, покрытой гидроксипатитом.

2. Стресс от засоления отрицательно влияет на следующие показатели горького миндаля на ранних стадиях его развития: энергию прорастания, всхожесть, длину и диаметр стебля.

3. Повышение концентрации поливного солевого раствора от 1 dSm⁻¹ до 5 dSm⁻¹ отрицательно влияет на скорость прироста диаметра стебля и высоты растения горького миндаля, количество листьев с растения, площадь листьев, содержание сухого вещества, фотосинтетических пигментов, общее содержание углеводов и питательных веществ в листьях и почвенном субстрате.

4. Увеличение концентрации раствора солей препятствует процессу поглощения минеральных веществ горьким миндалем и ограничивает его, вероятно из-за высокого осмотического давления в почвенном растворе.

5. Специальные методы и регулирование уровня засоления могут быть использованы для уменьшения отрицательных последствий воздействия стресса от засоления на растения горького миндаля. Так, обработка саженцев раствором с концентрацией солей 5 dsm^{-1} в период всходов и после проращивания улучшает адаптацию растений к засолению.

6. Использование азотных наноудобрений уменьшает отрицательное воздействие солевого стресса в период прорастания семян горького миндаля и повышает процент и скорость прорастания. Оно повышает биологическую активность запасаемых веществ, ускоряет развитие зародыша в семени и выход из стадии покоя.

7. Применение наноудобрений улучшает способность проростков горького миндаля переносить стресс в условиях засоления, обеспечивая растения необходимым количеством питательных веществ, уменьшая выщелачивание азота и повышая эффективность его использования растением на протяжении регулярного и медленного высвобождения из удобрений в условиях засоления.

8. Внесение наноудобрений, привело к увеличению количества листьев, площади листьев и общего содержания хлорофилла, что способствовало накоплению общего количества углеводов в растениях. Кроме того, наноудобрения предотвращали поглощение ионов Na^+ горьким миндалем, что является основным показателем толерантности растений к засолению.

9. Установлено, что при внесении 50% концентрации наноудобрений, отмечен тот же эффект, что и при внесении 100% сульфата аммония и мочевины. Таким образом, за счет применения наноудобрений можно уменьшить общее количество вносимых удобрений, необходимых для роста растений, особенно в условиях засоления.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для повышения толерантности растений горького миндаля и его устойчивости к стрессу в условиях засоления, рекомендуется вымачивание и предварительная обработка семян в растворе с высокой концентрацией солей 5 dSm^{-1} .

2. В питомниках саженцы горького миндаля, которые планируется выращивать на засоленных почвах, необходимо подвергать предварительной обработке и поливу водным раствором NaCl в сочетании с использованием 50% наноудобрений в период прорастания и на ранних стадиях роста для ускорения процесса прорастания с получением более сильной и устойчивой к стрессовым условиям рассады.

3. Для предотвращения потерь азота из-за выщелачивания в почве рекомендуется использовать покрытие диспергированной мочевины наночастицами гидроксиапатита, фосфор и кальций которого служат дополнительным источником питательных веществ для растений.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, индексируемых в Scopus

1. **Badran A.M.** Effect of Nano-fertilizer on Seed Germination and First Stages of Bitter Almond Seedlings Growth under Saline Conditions / A.M. Badran, I.Y.Savin // BioNanoScience. – 2018. Vol.8. pp. 742–751.

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

2. **Бадран А.** Морфологический отклик горького миндаля (*Prunus Amygdalus*) на азотное наноудобрение на ранних стадиях развития / А. Бадран, И.Ю. Савин // Вестник Российского университета дружбы народов: Серия: Агрономия и животноводство. – 2017. Т.12(4) - С.312-322.

3. **Badran A. M.** Morphological response of bitter almond under saline conditions / A.M. Badran, I.Y. Savin // Естественные Науки. – 2017. Т. 4 (61) - С. 9-22.

Научные публикации в иных изданиях

4. **Badran A.M.** Role of nano-fertilizers in modern agriculture / A.M. Badran, I.Y.Savin // Науки о Земле. 2016. № 3- p. 80-83.

5. **Badran A.M.** Effect of Nano-fertilizer on Seed Germination and First Stages of Bitter Almond Seedlings Growth under Saline Conditions / A.M. Badran // Материалы X Всероссийского конгресса молодых ученых-биологов «Симбиоз 2017»: 2017- Pp. 132-133.

6. **Badran A.M.** Germination of bitter almond seeds under different salinity of irrigation water and soil / A.M. Badran // Материалы Первой открытой конференции молодых ученых «Почвоведение: горизонты будущего». 2017- Pp. 112-116.

7. **Badran A.M.** Growth sustainability of salt-stressed bitter almond rootstock / A.M. Badran // Молодежная наука: вызовы и перспективы: материалы I Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – Макеевка: ГОУ ВПО Донбасская аграрная академия: 2018- Pp.10-15.

8. **Badran A.M.** Comparative study between chemical and nano-fertilizer on vegetative growth of bitter almond rootstock / A.M. Badran // Материалы Второй открытой конференции молодых ученых «Почвоведение: горизонты будущего». 2018- Pp.15-23.

9. **Badran A.M.** Effect of nano-fertilizer on vegetative growth of bitter almond seedlings under saline conditions / A.M. Badran, I.Y.Savin // Наука и образование третьего тысячелетия: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: 2018- Pp.35-36.

10. **Badran A.M.** Effect of Nano-fertilizer on germination of bitter almond seeds / A.M. Badran, I.Y.Savin // Труды Международной научно-практической конференции «Инновационные процессы в сельском хозяйстве». 2018- Pp. 229-233.

АННОТАЦИЯ

Влияние азотных наноудобрений на прорастание семян и первые стадии роста горького миндаля при солевом стрессе

В представленной работе изучено влияния азотных наноудобрений на всхожесть и ранние стадии развития горького миндаля в условиях засоления. С учетом трех типов удобрений в 4 концентрациях и трех концентрациях солевого раствора, всего было 36 вариантов опыта в 3 повторностях.

Обработку данных проводили методом дисперсионного анализа результатов многофакторного опыта. Наши результаты показали, что при предпосевной обработке семян и проростков горького миндаля 50% азотным наноудобрением в условиях засоления заметно повышаются показатели всхожести, вегетативных признаков, фотосинтетических пигментов и элементного состава листьев растений по отношению к традиционным удобрениям. В питомниках саженцы горького миндаля, которые планируется выращивать на засоленных почвах, должны подвергаться предварительной обработке и поливу солевым раствором в сочетании с использованием 50% наноудобрения в период прорастания и на ранних стадиях роста для получения более сильной и устойчивой к стрессовым условиям рассады.

SUMMARY

Effect of Nitrogen Nano-fertilizer on Seed Germination and first Stages of Bitter Almond Growth under Salt Stress conditions

This experiment was conducted to investigate the effect of nano-fertilizer on seed germination and the first stages of bitter almond growth under saline conditions. The treatments were arranged in a randomized complete block design in factorial experiment with 3 levels of salinity, 3 kinds of fertilizers and 4 concentrations which equivalent to 36 treatments that replicated three time. Our results revealed that, pre-treating seeds and resulted seedlings of bitter almond rootstock with 50% of nano-fertilizer under saline conditions markedly increased germination measurements, vegetative traits, photosynthetic pigments and elemental compositions of plant leaves relative to urea and ammonium sulfate fertilizers. Hence, we can conclude growers and nursery to pre-treat seeds and irrigate the resulted seedlings of bitter almond rootstock (which will be cultivate in saline soil) by saline water combined with 50% of nano-fertilizer during germination and early stages of growth in nursery for obtaining a vigor and resistant seedlings to salt stress conditions.