

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI

OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

FARG'ONA DAVLAT UNIVERSITETI

**FarDU.
ILMIY
XABARLAR**

1995-yildan nashr etiladi
Yilda 6 marta chiqadi

5-2025
TABIY FANLAR

**НАУЧНЫЙ
ВЕСТНИК.
ФерГУ**

Издаётся с 1995 года
Выходит 6 раз в год

| | |
|---|-----|
| Sh.S.Abdukarimov, A.X.Makamov, Sh.U.Boboxujayev, M.F.Sanamyan, Z.T.Buriev O'simliklarda xromosomasi almashgan yoki xromosoma segmentlari almashgan liniyalarni olish va ularning ahamiyati | 114 |
| M.A.Jumanov, R.R.Raxmonov O'zbekistonda ovlashga ruxsat etilgan qushlarning sistematik tahlili va Buxoro viloyatida uchrashi haqida ma'lumotlar | 120 |
| A.A.Ahmadjonov, A.T.Turdaliyev, I.I.Musayev, Y.H.Muhammadov Sug'oriladigan tuproqlar va gilosda biomikroelementlar biogeokimyosi | 127 |
| A.N.Yusupov, M.S.Ayubov, X.A.Ubaydullayeva, B.O.Mamajonov, N.Sh.Obidov, A.A.Murodov, Z.H.Bashirxonov, S.A.Abdullaev, F.I.Babadjanova Integrativ RNA-seq tahlili asosida soya (<i>Glycine max</i>) va tok (<i>Vitis vinifera</i>) o'simliklarida abiotik stressiga chidamlilik bilan aloqador genlarni aniqlash | 134 |
| D.E.Usmanov, Sh.S.Abdukarimov, B.M.Sobirov, A.A.Azimov, A.T.Abdug'afforov, D.S.Juraqulov, Z.T.Buriev G'o'za (<i>G.hirsutum</i> L.) <i>GHFHY3/FAR1</i> genlar oilasi vakillarini tavsiflash..... | 143 |
| D.E.Usmanov, Sh.S.Abdukarimov, B.M.Sobirov, A.A.Azimov, A.T.Abdug'afforov, D.S.Juraqulov, Z.T.Buriev G'o'za (<i>Gossypium spp</i>) turlari <i>GHFHY3/FAR1</i> genlar oilasi vakillarini solishtirma bioinformatik tahillar yordamida aniqlash | 153 |
| A.A.Sharifjonov, D.E.Usmanov, Sh.S.Abdukarimov, B.M.Sobirov, A.T.Abdug'afforov, D.S.Juraqulov, Z.T.Buriev, Sh.R.Xusanbayeva A.A.Sharifjonov G'o'za (<i>G.hirsutum</i> L.) turi <i>GHFHY3/FAR1</i> genlar oilasi vakillari Cis-element hududlarini o'rganish..... | 158 |
| S.D.Dadayev, D.A.Paluanizayova Qoraqalpog'iston sharoitida qo'ylar gelmintlari faunasi va ularning sistematik holati | 164 |
| Sh.Q.Yuldasheva, M.I.Teshaboyeva Nok zararkunandalariga qarshi kimoviy kurashning ta'siri | 170 |
| Sh.Q.Yuldasheva, A.Q.Xamidov Farg'ona vodiysida temirchaklar (Tettigoniodea)ni tarqalishi va unga ta'sir etuvchi omillar | 174 |
| N.S.Abdunazarov, B.D.Mamarasulov <i>Streptomyces spectabilis</i> fermentatsiyasida muhit sharoitlarini ahamiyati | 178 |
| G'.Yuldashev, Q.S.Maxsudov Janubiy Farg'ona gipsli bo'z tuproqlarida namlik bosimining o'zgarishi | 182 |
| J.S.Sattarov, S.Q.Mahammadiyev, Sh.D.Quramboeva Piskent tumanining sug'oriladigan tipik bo'z tuproqlarida granulometrik tarkibi xususiyatlari..... | 188 |
| Sh.Sh.Qosimova, B.D.Mamarasulov <i>Streptomyces</i> sp. izolyatining antibiotikka chidamli klinik shtammlarga nisbatan antimikrob faolligini baholash | 194 |
| Z.A.Yusupova Shohimardonsoy havzasi dorivor o'simliklari | 199 |

QISHLOQ XO'JALIGI

| | |
|--|-----|
| D.E.Djo'rayeva, M.T.Isag'aliyev Dorivor godji (<i>Lycium barbarum</i> L.) ninsya navi urug'lari unuvchanligini baholash | 206 |
| T.T.Усманов, Н.И.Халилова, А.А.Ибрагимов, М.А.Мамасолиева Влияние кремниевых препаратов на всхожесть и биохимическую активность проростков хлопчатника сорта Бухара-8 в условиях изменения климата и засоления почвы..... | 211 |
| S.Q.Zakirova, Z.Z.Abdushukurova Taqirsimon tuproqlarning tuz rejimi va uni boshqarish..... | 218 |
| O.O.Mamatqulov, M.A.G'oziyev Turli ko'chat qalinligi va defoliant me'yorlarini o'rta tolali S-7303 g'o'za navi chigit sifatiga ta'sirini baholash | 222 |



UO'K: 633.51:631.461:631.811.98:58.087.3

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЕВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ВСХОЖЕСТЬ И БИОХИМИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПРОРОСТКОВ ХЛОПЧАТНИКА СОРТА БУХАРА-8 В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВЫ**IQLIM O'ZGARISHI VA SHO'RLANISH SHAROITIDA KREMNIY PREPARATLARINING BUXORO-8 G'O'ZA NIHOLLARINING UNUVCHANLIGI VA BIOKIMYOVIY FAOLLIGIGA TA'SIRI****EFFECT OF SILICON PREPARATIONS ON THE GERMINATION AND BIOCHEMICAL ACTIVITY OF BUKHARA-8 COTTON SEEDLINGS UNDER CLIMATE CHANGE AND SOIL SALINITY CONDITIONS****Усманов Тургун Тилакович¹** ¹к.с.-х.н., старший преподаватель кафедры Агрономии и почвоведения факультета Естественных наук и агробиотехнологии, Бухарский государственный университет**Халилова Нигора Ихтиёровна²** ²Бухарский государственный педагогический институт Кафедра биологии, преподаватель**Ибрагимов Акмал Ахмадович³** ³Национальный университет Узбекистана, химический факультет, кафедра природных соединений и прикладной химии, магистрант,**Мамасолиева Малика Адхамовна⁴** ⁴Национальный университет Узбекистана, кафедра почвоведения, (PhD)**Annotatsiya**

Sho'r va qurg'oqchil sharoitlarda urug'larning unib chiqishi ko'pincha stress omillari ta'sirida cheklanadi, bu esa o'simliklarning chidamliligini oshirish bo'yicha samarali yondashuvlarga ehtiyoj borligini ko'rsatadi. Ushbu tadqiqot g'o'zaga (Gossypium hirsutum L., cv. Bukhara-8) qo'llangan kremniy asosidagi va biologik faol preparatlar Aminosit-Silicon, Aminosit-Aton hamda Bioazot ta'sirini baholashga qaratildi. Urug'larning unish dinamikasi ekillgandan keyingi 10-22 kun davomida kuzatildi va tajriba guruhlarida sezilarli yaxshilanish qayd etildi. Ulardan Aminosit-Silicon eng yuqori unish ko'rsatkichini (79,3%) namoyon qildi, nazorat variantida esa bu ko'rsatkich 65,3%ni tashkil etdi. Biokimyoviy tahlillar kremniy qo'llanilganda antioksidant fermentlar superoksid dismutaza (SOD), katalaza (CAT) va peroksidaza (POD) faolligining oshishi, shuningdek, nihollarda prolin to'planishining kuchayishini ko'rsatdi. Ushbu natijalar kremniy asosidagi preparatlar tuproqdagi tabiiy kremniy etishmovchiligini qoplashini va urug'larning unib chiqishini yaxshilash hamda sho'rlanish va qurg'oqchilik sharoitida fiziologik himoya mexanizmlarini kuchaytirishda muhim rol o'ynashini tasdiqlaydi. Xususan, Aminosit-Silicon ishlatilganda superoksid dismutaza faolligi 143,12 dan 158,69 U/mg oqsilgacha, katalaza 81,78 dan 103,21 U/mg oqsilgacha, peroksidaza 134,96 dan 152,01 U/mg oqsilgacha, prolin miqdori esa 112,3 dan 144,7 µg/g nam massa gacha oshib, stress sharoitida fiziologik himoya mexanizmlarining sezilarli darajada kuchayishini ko'rsatdi.

Аннотация

Прорастание семян в засушливых и засоленных условиях часто ограничено из-за стрессовых факторов, что подчеркивает необходимость эффективных подходов к повышению устойчивости растений. Целью данного исследования было оценить влияние препаратов на основе кремния и биологически активных веществ Aminosit-Silicon, Aminosit-Aton и Bioazot, примененных к хлопчатнику (Gossypium hirsutum L., сорт Бухара-8). Динамика прорастания отслеживалась с 10 по 22 день после посева, и в группах, подвергшихся обработке, были зафиксированы значительные улучшения. Среди них Aminosit-Silicon показал самый высокий показатель прорастания (79,3%) по сравнению с 65,3% в контрольной группе, не подвергшейся обработке. Биохимический анализ показал, что обработка кремнием стимулировала активность антиоксидантных ферментов, таких как супероксиддисмутаза (СОД), каталаза (КАТ) и пероксидаза (ПОД), а также усиливала накопление пролина в проростках. Эти результаты подтверждают, что препараты на основе кремния могут компенсировать дефицит кремния в почвах и играть ключевую роль в улучшении прорастания семян и усилении физиологических защитных механизмов в условиях солевого и засушливого стресса. В частности, обработка Aminosit-Silicon увеличила активность супероксиддисмутазы с 143,12 до 158,69 U/мг белка, ката-

лазы с 81,78 до 103,21 У/мг белка, пероксидазы с 134,96 до 152,01 ЕД/мг белка, а содержание пролина с 112,3 до 144,7 мкг/г свежего веса, что указывает на значительное усиление физиологических защитных механизмов в условиях стресса.

Abstract

Seed germination under saline and arid conditions is often limited due to stress factors, which highlights the need for effective approaches to enhance plant resilience. This study aimed to evaluate the effects of silicon-based and biologically active preparations Aminosid-Silicon, Aminosid-Aton, and Bionitrogen applied to cotton (*Gossypium hirsutum* L., cv. Bukhara-8). Germination dynamics were monitored from 10 to 22 days after sowing, and significant improvements were recorded in the treatment groups. Among them, Aminosid-Silicon showed the highest germination rate (79.3%), compared to 65.3% in the untreated control. Biochemical analysis revealed that silicon treatments stimulated the activity of antioxidant enzymes such as superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and peroxidase (POD), as well as enhanced proline accumulation in seedlings. These results confirm that silicon-based preparations can compensate for native silicon deficiency in soils and play a key role in improving seed germination and enhancing physiological defense mechanisms under saline and arid stress conditions. Specifically, Aminosid-Silicon treatment increased superoxide dismutase activity from 143.12 to 158.69 U/mg protein, catalase from 81.78 to 103.21 U/mg protein, peroxidase from 134.96 to 152.01 U/mg protein, and proline content from 112.3 to 144.7 µg/g fresh weight, indicating a significant enhancement in physiological defense mechanisms under stress conditions.

Kalit so'zlar: tuproq, kremniy asosidagi preparatlar, unish tezligi, antioksidant fermentlar, prolin.

Ключевые слова: почва, препараты на основе кремния, скорость прорастания, антиоксидантные ферменты, пролина

Key words: Soil, silicon-based preparations, germination rate, antioxidant enzymes, proline.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях глобальных изменений климата особенно актуальными становятся проблемы деградации и засоления почв, что негативно отражается на урожайности и устойчивости сельскохозяйственных культур. В связи с этим возрастает необходимость разработки и внедрения адаптационных технологий, направленных на сохранение плодородия почв и повышение устойчивости растений к стрессовым факторам среды.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Почва – это материал, состоящий из пяти основных компонентов: минералов, органического вещества, живых организмов, воздуха и воды. Почва состоит из комбинации различных компонентов, которые придают каждому типу почвы уникальную структуру и характеристики. Ее физические, химические и биологические свойства тесно связаны между собой, что делает почву жизненно важной средой для роста растений и других важных функций. Например, физические характеристики влияют на развитие растений, микробиологическую активность и движение воды. Химические особенности определяют доступность и преобразование питательных веществ, а биологические аспекты поддерживают формирование, структуру и общую продуктивность почвы. Люди управляют почвой на протяжении тысячелетий, но с появлением новых экологических проблем становится все более важным внедрять инновационные методы управления почвой для защиты этого ценного природного ресурса (Paul, 2007).

В последние годы изменение климата и усиление засоления почв стали серьезными глобальными проблемами (Tarolli et al., 2024). Засоление является фактором, который изменяет физические, химические и биологические свойства почвы. В первую очередь, оно приводит к нарушению нормального обмена водой и питательными веществами (Alsudays et al., 2024). В засоленных почвах из-за повышенного осмотического давления растения поглощают ограниченное количество воды и питательных веществ через корни. В результате нарушается водный баланс растений, что приводит к дефициту воды, физиологическому стрессу и замедлению общего развития (Pachepsky et al., 2024).

Глобальные экологические факторы, связанные с изменением климата, в частности, усиление биотического и абиотического стресса, изменяют физико-химические свойства почвы, что приводит к снижению ее плодородия (Ma et al., 2020). В результате это приводит к значительному снижению качества и количества роста, развития и продуктивности растений (Pawar et al., 2023). В таких сложных условиях наличие подвижных форм кремния в почвенной среде позволяет рассматривать его как «иммунный элемент почвы» (Etesami & Jeong, 2018; López-Pérez et al., 2018).

Кремний (Si) является вторым по распространенности элементом в почве после кислорода, составляя примерно 28 % ее веса (Epstein, 1994). Кремний может встречаться в почвах в различных формах и с разным уровнем стабильности, в основном в виде алюмосиликатов и кварца -SiO₂ (Tubana et al., 2016). Согласно исследованиям, эти соединения со-

BIOLOGIYA

ставляют примерно 75-95 % неорганической фракции почвы (Richard Drees et al., 2018). В большинстве случаев кремний присутствует в кристаллическом кварце или аморфных кремнийсодержащих веществах (Wilson, 2020). Хотя кремний изначально не классифицировался как необходимый элемент для растений, недавние научные исследования продемонстрировали его роль в повышении плодородия почвы и увеличении толерантности растений к абиотическим и биотическим факторам стресса, тем самым установив кремний как полезный элемент для развития растений (Wang et al., 2017).

В последние годы значительная роль кремния в активации механизмов стрессоустойчивости растений и его присутствие в почвах привели к всплеску интереса к исследованиям, и все больше аналитических публикаций посвящается этой теме (Exley, 2015). Присутствие аморфных и подвижных форм кремния в почве может оказывать благотворное влияние как на почву, так и на растения, что подтверждается многочисленными научными исследованиями (Е. А. Bocharnikova et al., 2023; Matichenkov & Bocharnikova, 2001). Поглощение биодоступных форм кремния приводит к утолщению и укреплению тканей корней и стеблей растений, активации биохимических процессов и повышению эффективности фотосинтеза в листьях (Matichenkov et al., 2008). Кроме того, кремний значительно повышает устойчивость растений к абиотическим (колебания температуры, засоленность, тяжелые металлы и токсичность почвы) и биотическим (бактериальные и грибковые заболевания, насекомые-вредители) факторам стресса, тем самым смягчая их неблагоприятное воздействие (Leroy et al., 2019). Таким образом, настоящее исследование было направлено на проведение комплексного анализа влияния экзогенно вносимых кремнийсодержащих препаратов на активацию антиоксидантной системы защиты и модуляцию накопления пролина у *Gossypium hirsutum* L. (cv. Bukhara-8) в условиях солевого и засушливого стресса.

Полевые испытания в рамках данного исследования проводились на сельскохозяйственных полях фермерского хозяйства «Рахмат Миршод Аvez», расположенного в Бухарской области Узбекистана.

АГРОНОМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ

Все агротехнические мероприятия выполнялись по стандартным протоколам. Осенью поле очистили и в ноябре провели глубокую вспашку (25–30 см). Посев хлопка сорта Бухара-8 (засухоустойчивый, высокоурожайный, тип IV) состоялся 15 апреля: норма - 70 кг семян на 2 га, междурядья - 60 см, глубина – 4-6 см. Всходы проредили 10-12 мая. Семена предварительно замачивались в растворах Aminosid-Aton, Aminosid-Silicon и Bionitrogen. Листовая подкормка проводилась дважды (фаза цветения и образование коробочек) ручным опрыскиванием. В течение вегетации выполнено пять междурядных культиваций и два рыхления почвы (25-30 см). Минеральные удобрения внесены в дозах: 200 кг/га азота, 140 кг/га фосфора и 100 кг/га калия

Подготовка растительного материала для биохимического анализа. Образцы проростков были собраны через 12 дней после появления для биохимического анализа. Свежие ткани были немедленно гомогенизированы в жидком азоте, а ферментативные и биохимические параметры были количественно определены спектрофотометрически с помощью прибора Shimadzu (Япония). Активность пероксидазы (POX) определялась путем мониторинга образования тетрагуаякола при 470 нм. (Chance et al, 1955)., в то время как активность каталазы (CAT) измерялась на основе разложения H_2O_2 при 240 нм.

(Aebi, 1984). Активность фенилаланин-аммиак-лиазы (PAL) оценивали по образованию транс-коричной кислоты при 290 нм. (Peltonen et al., 1997). Активность супероксиддисмутазы (СОД) оценивали по ее способности ингибировать восстановление нитросинего тетразолия. (Giannopolitis & Ries, 1977). Общее содержание белка оценивали по методу Лоури при 750 нм (Lowry et al., 1951), и содержание свободного пролина измеряли с помощью колориметрического анализа на основе нингидрина при 510 нм (Bates et al., 1973). Эти комбинированные анализы позволили провести комплексную оценку физиологических и биохимических реакций проростков хлопчатника при применении различных методов обработки.

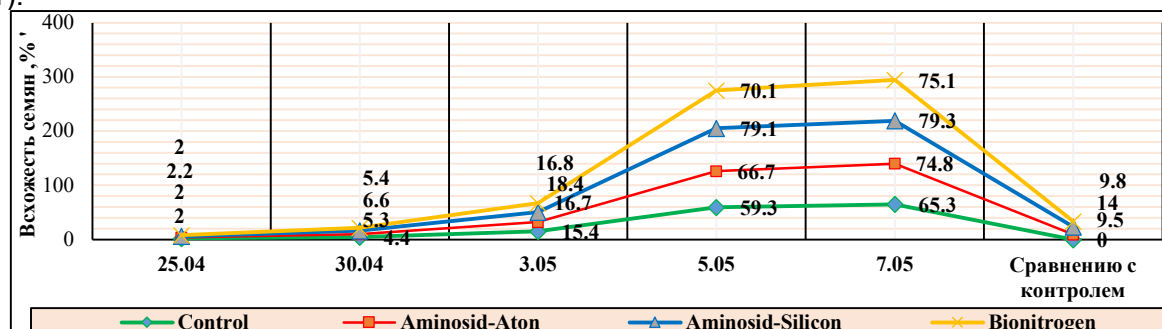
Статистический анализ. Данные обработаны в GraphPad Prism 8.0.1. Для оценки различий применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). При $P < 0,05$ средние значения сравнивали по критерию LSD. Для каждой выборки определяли среднее (M) и стандартную ошибку ($\pm m$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ряд исследований подтверждает важную роль кремния в адаптации растений к неблагоприятным условиям. В нашем исследовании установлено, что при выявленном дефиците активного кремния в почвах применение кремнийсодержащих препаратов может усиливать биологическую активность почвы, повышать её плодородие и укреплять защитные механизмы растений против стрессовых факторов. Это открывает перспективные возможности для сельскохозяйственной практики. Эффективность соединений кремния в повышении биологической активности почвы, устойчивости растений к абиотическим и биотическим стрессам, поддержке прорастания и ранних этапов роста, а также в улучшении качества урожая подтверждается научной литературой (Bocharnikova et al., 2010; Mamasolieva & Gafurova, 2023).

Влияние препаратов Aminosid-Aton, Aminosid-Silicon и Bionitrogen на прорастание семян *Gossypium hirsutum* L. (Bukhara-8) оценивали в полевых условиях. Наблюдения за динамикой прорастания проводили 25 апреля (10-й день после посева), 30 апреля (15-й день), 3 мая (18-й день), 5 мая (20-й день) и 7 мая (22-й день), как указано в разделе «Методы». Такие интервалы позволили детально проследить особенности появления всходов в различных вариантах опыта.

Результаты показали, что все применённые препараты оказали существенное влияние как на скорость прорастания, так и на общую эффективность появления всходов. В контрольном варианте всхожесть через 10 дней составила 65,3%, что было минимальным значением среди всех вариантов. Обработка препаратом Aminosid-Aton обеспечила всхожесть на уровне 74,8%, что на 9,5% выше контроля, указывая на умеренное повышение прорастания и улучшение жизнеспособности семян. Аналогичный положительный эффект наблюдался при применении препарата Bionitrogen: всхожесть достигла 75,1%, что на 9,8% выше контроля, что подтверждает его роль в стимуляции микробиологической активности и улучшении условий прорастания. Наиболее высокий показатель был зафиксирован в варианте с Aminosid-Silicon - 79,3%, что на 14% выше контроля. Такая закономерность позволяет предположить, что кремнийсодержащие соединения способствуют повышению проницаемости семенной оболочки и активации ферментативных систем на ранних этапах прорастания (рис. 1).



Представленные значения являются средними \pm SE трех независимых экспериментов ($n=3$). $p < 0,05$.

Рисунок 1. Влияние различных препаратов на скорость прорастания семян хлопка сорта «Бухара-8»

Исследование подтвердило, что Aminosid-Silicon играет ключевую роль в улучшении прорастания семян. Его высокая эффективность была особенно очевидна в засушливых климатических условиях. Раннее и стабильное прорастание семян хлопка напрямую связано с активностью антиоксидантов и гидролитических ферментов, присутствующих в семенах. В этом контексте особое внимание было уделено изучению роли активного кремния в Aminosid-Silicon как потенциального усилителя этих ферментативных процессов. Ферменты, такие как супероксиддисмутаза, каталаза и пероксидаза, играют важную роль в смягчении окислительного стресса в клетках семян, нейтрализуя вредное воздействие активных форм кислорода (АФК) (Muthuselvan et al., 2025). Эти ферменты функционируют в качестве основных компонентов антиоксидантной системы защиты, поддерживая здоровое прорастание и обеспечивая надлежащее физиологическое функционирование на ранних стадиях развития семян. (Muslim et al., 2023). В результате создаются благоприятные внутренние условия для раннего и стабильного прорастания семян (Muthuselvan et al., 2025).

BIOLOGIYA

Повышенная активность гидролаз клеточной стенки способствует разрыву клеток эпидермиса и стимулирует появление первичного корня, или корешка (Ogawa et al., 1997). Кремний также оказывает положительное влияние, поддерживая осмотический баланс внутри семени (Muthuselvan et al., 2025). Эта тенденция в значительной степени связана с повышенным содержанием пролина и свободных сахаров, особенно глюкозы, которые в совокупности способствуют прорастанию семян даже в условиях засоления или недостатка влаги в почве (Janes-Bassett et al., 2022). В целом, прорастание семян тесно связано с рядом внутренних биохимических процессов, включая ферментативную активность, механизмы осморегуляции, растительные гормоны и синтез защитных соединений (Meng et al., 2024). На этапе прорастания ключевыми показателями считаются такие специфические параметры, как активность ферментов, уровень фитогормонов и концентрация пролина. Оценка этих факторов позволяет оценить эффективность лечения в условиях стресса (Deng et al., 2021; Nayat et al., 2021).

На основе проанализированной литературы и результатов экспериментальных исследований было проведено более углубленное исследование с целью оценки влияния применяемых методов обработки на физиологические и метаболические процессы в растениях. В частности, в местных почвенных и климатических условиях была оценена активность ключевых антиоксидантных ферментов супероксиддисмутаза (СОД), каталазы (КАТ) и пероксидазы (ПО), а также содержание пролина в 12-дневных проростках хлопка, выращенных из обработанных семян (табл. 2).

Таблица 2. Влияние обработки семян на антиоксидантную защиту и накопление пролина у проростков хлопчатника на ранних стадиях развития

| Наименование препаратов | Активность ферментов (У/мг белка) | | | Содержание пролина (мкг/г сырой массы) |
|-------------------------|-----------------------------------|------------|-------------|--|
| | Супероксиддисмутаза | Каталаза | Пероксидаза | |
| Контроль | 143.12±3.2 | 81.78±2.7 | 134.96±3.1 | 112.3±4.2 |
| Aminosid-Aton | 149.12±3.2 | 94.08±1.8 | 141.65±2.2 | 122.3±4.2 |
| Aminosid-Silicon | 158.69±1.9 | 103.21±1.7 | 152.01±2.2 | 144.7±3.8 |
| Bionitrogen | 153.22±2.5 | 99.01±2.3 | 147.87±1.8 | 136.5±4.2 |

Примечание: значения представлены как среднее ± стандартная ошибка трёх независимых повторностей (n = 3), r < 0,05.

На ранней стадии развития проростков хлопчатника применение препаратов положительно повлияло на активность антиоксидантных ферментов и синтез пролина. Например, активность фермента супероксиддисмутаза (СОД) в контрольном варианте составляла 143,12 Ед/мг белка, тогда как при применении Aminosid-Aton она увеличилась до 149,12 Ед/мг белка, а при применении Bionitrogen до 153,22 Ед/мг белка. Наиболее высокая активность СОД была зафиксирована при обработке Aminosid-Silicon и достигла 158,69 ЕД/мг белка. Что касается активности каталазы (CAT), то в контроле она составила 81,78 ЕД/мг белка, в то время как при обработке Aminosid-Aton она увеличилась до 94,08 ЕД/мг белка, при обработке Бионитрогеном до 99,01 ЕД/мг белка, а при обработке Aminosid-Silicon до 103,21 ЕД/мг белка.

Аналогичным образом, активность пероксидазы (ПО) составляла 134,96 ЕД/мг белка в контроле и увеличилась до 141,65 ЕД/мг белка при обработке Aminosid-Aton, 147,87 ЕД/мг белка в варианте с Bionitrogen и 152,01 ЕД/мг белка при обработке Aminosid-Silicon.

Количество пролина, который играет ключевую роль в повышении стрессоустойчивости растений, в контрольной группе составило 112,3 мкг/г свежего веса. Однако содержание пролина увеличилось до 122,3 мкг/г при использовании Bionitrogen и достигло 136,5 мкг/г у проростков, обработанных Aminosid-Aton. Кроме того, наибольшее накопление наблюдалось при обработке Aminosid-Silicon 144,7 мкг/г. Эти результаты показывают, что примененные обработки, в частности Aminosid-Silicon, значительно повысили активность ключевых антиоксидантных ферментов (SOD, CAT и PO) и стимулировали синтез пролина в проростках хлопка. Эти данные ясно демонстрируют эффективность этих препаратов в повышении стрессоустойчивости растений к абиотическим стрессам и усилении общей биологической активности.

Выраженное влияние препарата Aminosid-Silicon на накопление пролина можно объяснить молекулярным механизмом действия его активного компонента кремния. Кремний

активирует антиоксидантную систему защиты растений, снижая уровень АФК и усиливая активность Δ^1 -пирролин-5-карбоксилатсинтазы (P_5CS), ключевого фермента, участвующего в биосинтезе пролина P_5CS митохондриальный фермент, который играет центральную роль в биосинтезе пролина, орнитина и аргинина, катализируя превращение глутамата в глутамат-5-семиальдегид, который самопроизвольно циклизуется с образованием P_5C (Maghsoudi et al., 2018). В результате этого регуляторного воздействия кремния на метаболизм пролина хлопковые растения продемонстрировали повышенную толерантность к засухе, засолению и окислительному стрессу (Pérez-Arellano et al., 2010).

Этот защитный механизм усиливает удержание воды в клетках и стабилизирует белки и мембраны в условиях стресса (Maghsoudi et al., 2018)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение кремнийсодержащих препаратов, особенно Aminosid-Silicon, в условиях абиотического стресса существенно повышало активность антиоксидантных ферментов (SOD, CAT, POD) и усиливало накопление пролина у хлопчатника (*Gossypium hirsutum* L., сорт Вукхара-8). Эти результаты показывают, что экзогенное внесение кремния активирует физиологические механизмы защиты, повышая устойчивость растений как к абиотическим (засоление, засуха), так и к биотическим (патогенное давление) стрессам.

Полученные данные подтверждают, что использование кремнийсодержащих препаратов на почвах с низким содержанием биодоступного кремния является перспективной стратегией для повышения стрессоустойчивости растений, оптимизации защитных реакций и обеспечения устойчивой урожайности в неблагоприятных условиях среды. Более того, результаты подтверждают функциональную значимость кремния в системе «почва–растение» и подчеркивают его потенциал как экономически эффективного и экологически безопасного агротехнического приёма.

Для дальнейшего развития рекомендуется проведение долговременных полевых исследований на различных культурах, типах почв и в разных климатических зонах с целью оценки масштабируемости и агроэкологической значимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aebi, H. (1984). [13] Catalase in vitro. In *Methods in Enzymology* (Vol. 105, pp. 121–126). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(84\)05016-3](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3)
2. Alhousari, F., & Greger, M. (2018). Silicon and Mechanisms of Plant Resistance to Insect Pests. *Plants*, 7(2), 33. <https://doi.org/10.3390/plants7020033>
3. Alsudays, I. M., Alshammary, F. H., Alabdallah, et al (2024). Applications of humic and fulvic acid under saline soil conditions to improve growth and yield in barley. *BMC Plant Biology*, 24(1), 191. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04863-6>
4. Bocharnikova, E. A., Loginov, S. V., Matychenkov, V. V., & Storozhenko, P. A. (2010). Silicon fertilizer efficiency. *Russian Agricultural Sciences*, 36(6), 446–448. <https://doi.org/10.3103/S1068367410060157>
5. Bocharnikova, E. A., Matichenkov, V. V., & Matichenkov, I. V. (2023). Silicon-Based Materials in Agriculture. *Агрохимия*, 12, 106–113. <https://doi.org/10.31857/S0002188123120049>
6. Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). [136] Assay of catalases and peroxidases. In *Methods in Enzymology* (Vol. 2, pp. 764–775). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(55\)02300-8](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8)
7. Deng, Q., Yu, T., Zeng, Z. et al (2021). Silicon Application Modulates the Growth, Rhizosphere Soil Characteristics, and Bacterial Community Structure in Sugarcane. *Frontiers in Plant Science*, 12, 710139. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.710139>
8. Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(1), 11–17. <https://doi.org/10.1073/pnas.91.1.11>
9. Etesami, H., & Jeong, B. R. (2018). Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 881–896. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.063>
10. Exley, C. (2015). A possible mechanism of biological silicification in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00853>
11. Giannopolitis, C. N., & Ries, S. K. (1977). Superoxide Dismutases: I. Occurrence in Higher Plants. *Plant Physiology*, 59(2), 309–314. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>
12. Hayat, K., Khan, J., Khan, A., Ullah, S., Ali, S., Salahuddin, & Fu, Y. (2021). Ameliorative Effects of Exogenous Proline on Photosynthetic Attributes, Nutrients Uptake, and Oxidative Stresses under Cadmium in Pigeon Pea (*Cajanus cajan* L.). *Plants*, 10(4), 796. <https://doi.org/10.3390/plants10040796>
13. Hussein Jabal, A., & Abdulkareem, M. A. (2023). Soil salinity and nutrient availability influenced by silicon application to tomato irrigation with different saline water. *Bionatura*, 8(CSS 1), 1–12. <https://doi.org/10.21931/RB/CSS/S2023.08.01.30>
14. Janes-Bassett, V., Blackwell, M. S. A., Blair, G., Davies, J., Haygarth, P. M., Mezeli, M. M., & Stewart, G. (2022). A meta-analysis of phosphatase activity in agricultural settings in response to phosphorus deficiency. *Soil Biology and Biochemistry*, 165, 108537. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108537>

BIOLOGIYA

15. Leroy, N., De Tombeur, F., Walgraffe, Y., Cornélis, J.-T., & Verheggen, F. J. (2019). Silicon and Plant Natural Defenses against Insect Pests: Impact on Plant Volatile Organic Compounds and Cascade Effects on Multitrophic Interactions. *Plants*, 8(11), 444. <https://doi.org/10.3390/plants8110444>
16. López-Pérez, M. C., Pérez-Labrada, F., Ramírez-Pérez, L. J. (2018). Dynamic Modeling of Silicon Bioavailability, Uptake, Transport, and Accumulation: Applicability in Improving the Nutritional Quality of Tomato. *Frontiers in Plant Science*, 9, 647. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00647>
17. Ma, Y., Dias, M. C., & Freitas, H. (2020). Drought and Salinity Stress Responses and Microbe-Induced Tolerance in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 11, 591911. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.591911>
18. Maghsoudi, K., Emam, Y., Niazi, A., Pessarakli, M., & Arvin, M. J. (2018). P5CS expression level and proline accumulation in the sensitive and tolerant wheat cultivars under control and drought stress conditions in the presence/absence of silicon and salicylic acid. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 461–471. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1506516>
19. Mamasoliev M., Holmurodov N., Gafurova L. A. (2023). *Effect of silicon fertilizers on plant growth and development in saline soils*. National University of Uzbekistan.
20. Matichenkov, V. V., & Bocharnikova, E. A. (2001). Chapter 13 The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. In *Studies in Plant Science* (Vol. 8, pp. 209–219). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80017-3](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80017-3)
21. Matichenkov, V. V., Bocharnikova, E. A., Kosobryukhov, A. A., & Biel, K. Ya. (2008). Mobile forms of silicon in plants. *Doklady Biological Sciences*, 418(1), 39–40. <https://doi.org/10.1134/S0012496608010134>
22. Meng, X., Jin, N., Jin, L., Wang, S., Zhao, W., Xie, Y., Huang, S. (2024). Silicon-seed priming promotes seed germination under CA-induced autotoxicity by improving sucrose and respiratory metabolism in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *BMC Plant Biology*, 24(1), 1164. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05908-6>
23. Muslim, D. A., Al-Shareefi, M. J. H., & Alazawi, S. S. M. (2023). Effect of Salicylic Acid and Nano-Silicon of the Enzymatic Activity for Potato Shoots Grown Under Salt Stress in Vitro. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1158(10), 102006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1158/10/102006>
24. Muthuselvan, K., Chinnapaiyan, V., Renganathan, U. (2025). Nano Silicon as a Potential Seed Priming Agent for Enhancing Resilience against Moisture Stress in Finger Millet (*Eleusine coracana* L.). *Silicon*. <https://doi.org/10.1007/s12633-025-03268-w>
25. Ogawa, K., Kanematsu, S., & Asada, K. (1997). Generation of Superoxide Anion and Localization of Cu Zn Superoxide Dismutase in the Vascular Tissue of Spinach Hypocotyls: Their Association with Lignification. *Plant and Cell Physiology*, 38(10), 1118–1126. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a029096>
26. Pachepsky, Y., Yakirevich, A., Ponizovsky, A. A., & Gummatov, N. (2024). The osmotic potential of soil solutions in salt tolerance studies: Following M. Th. van Genuchten's innovation. *Vadose Zone Journal*, 23(4), e20299. <https://doi.org/10.1002/vzj2.20299>
27. Paul, E. A. (2007). Soil microbiology, ecology, and biochemistry in perspective. In *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (pp. 3–24). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-047514-1.50005-6>
28. Pawar, G., Sargar, P., Naik, G., Deshmukh, S., Shedge, P., Halge, S., Pawar, A., & Reddy, P. N. (2023). Effect of Abiotic Stress on Plant Growth and Development, Physiological and Breeding Strategies to Overcome Stress Condition. *International journal of plant and environment*, 8(03), 1–9. <https://doi.org/10.18811/ijpen.v8i03.01>
29. Pérez-Arellano, I., Carmona-Álvarez, F., Martínez, A. I., Rodríguez-Díaz, J., & Cervera, J. (2010). Pyrroline-5-carboxylate synthase and proline biosynthesis: From osmotolerance to rare metabolic disease. *Protein Science*, 19(3), 372–382. <https://doi.org/10.1002/pro.340>
30. Richard Drees, L., Wilding, L. P., Smeck, N. E., & Senkayi, A. L. (2018). Silica in Soils: Quartz and Disordered Silica Polymorphs. In J. B. Dixon & S. B. Weed (Eds.), *SSSA Book Series* (pp. 913–974). Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2136/sssabookser1.2ed.c19>
31. Tarolli, P., Luo, J., Park, E., Barcaccia, G., & Masin, R. (2024). Soil salinization in agriculture: Mitigation and adaptation strategies combining nature-based solutions and bioengineering. *iScience*, 27(2), 108830. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.108830>
32. Tubana, B. S., Babu, T., & Datnoff, L. E. (2016). A Review of Silicon in Soils and Plants and Its Role in US Agriculture: History and Future Perspectives. *Soil Science*, 181(9/10), 393–411. <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000179>
33. Wang, M., Gao, L., Dong, S., Sun, Y., Shen, Q., & Guo, S. (2017). Role of Silicon on Plant–Pathogen Interactions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 701. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00701>
34. Wilson, M. J. (2020). Dissolution and formation of quartz in soil environments: A review. *Soil Science Annual*, 71(2), 3–14. <https://doi.org/10.37501/soilsa/122398>