

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D05101 – Биология»

Зорбековой Айгерім Нұрланқызы

Общая характеристика работы. Диссертационная работа посвящена изучению адаптационных механизмов имматурных растений *Chenopodium quinoa* Willd при воздействии абиотических стрессоров.

Актуальность работы. Статистические прогнозы показывают, что к 2050 году численность населения мира увеличится до 9,7 миллиарда человек, поэтому в настоящее время возрастают опасения, будет ли способно сельское хозяйство производить достаточное количество продуктов питания для растущего населения. Основные зерновые культуры, такие как пшеница, рис, ячмень и кукуруза, имеют ограниченный ресурс для сопротивления усугубляющимся процессам опустынивания земель: засолению почв и дефициту водных ресурсов, особенно в маргинальных регионах, которые наиболее уязвимы к изменению климата (Jarvis et al. 2015; Hamdy 2016; Jacobsen 2016; Hunter et al. 2017).

Следовательно, существует острая необходимость в поиске альтернативных решений для поддержания и, возможно, повышения продуктивности сельского хозяйства в районах, где выращивание традиционных культур становится все более трудным и неэкономичным. Поэтому важно сместить акцент на новые высокопитательные и устойчивые культуры.

Для культивации на засоленных почвах с целью последующего снижения уровня засоления можно обратить внимание на растения, принадлежащие к семейству Amaranthaceae, являются относительно недавними дополнениями к современному сельскому хозяйству, происходящими из Нового Света. Многие члены семейства классифицируются как псевдо злаки (Caryophyllales: Amaranthaceae), которые в последние годы привлекли внимание аграриев в мире из-за своего высокопитательного зерна и зеленой массы, особенно из-за их ценного аминокислотного состава (богатого лизином, аргинином и гистидином). Амарантовые культуры также содержат медицинские биоактивные вещества, такие как сквален и антиоксиданты, которые способствуют профилактике заболеваний. А значительное содержание железа (Fe) в семенах, делает их потенциально эффективными в борьбе с железodefицитной анемией. Более того, белок семян амарантовых культур не содержит глютена, что делает его отличным источником белка для людей с целиакией. В отличие от традиционных культур, амаранты не только выдерживают суровые условия, такие как засуха или засоление почвы, но и показывают увеличение содержания белков, витаминов, фенольных кислот, флавоноидов и природных антиоксидантов. Поэтому амаранты можно считать перспективным выбором для фермеров, особенно на маргинальных почвах.

Один из представителей этого семейства, активно внедряемый в сельскохозяйственное производство многих регионов мира – это *Chenopodium quinoa* Willd, факультативно-галофитный вид растений, способный приспосабливается к широкому спектру маргинальных сред, включая почвы с высокой засоленностью и районы, подверженные засухе. Наиболее толерантные сорта киноа способны справляться с уровнями солености, такими же высокими, как и в морской воде (Razzaghi и соавт., 2015), (Kramer P.J., Boyer J.S. (1996). Кроме того, киноа имеет большую питательную ценность – семена этой культуры хорошо сбалансированы по содержанию углеводов, липидов, аминокислот и белков, которые полезны для питания человека. Поэтому этот вид представляется перспективным для внедрения в сельскохозяйственное производство в засушливых регионах.

Тем не менее, несмотря на растущее мировое признание необходимости и потенциала альтернативных культур, несмотря на положительные исследования по результатам пилотных исследований, все еще существует множество нерешенных проблем, которые необходимо изучить, прежде чем эти культуры будут признаны там, где до сих пор преобладали другие сельскохозяйственные виды растений.

Среди многочисленных абиотических стрессов засуха и засоление почвы являются, вероятно, одними из наиболее распространенных и губительных для растений как в мире, Казахстане. Хотя галофиты имеют широкий диапазон солеустойчивости, они также, в большей или меньшей степени, страдают от чрезмерной концентрации соли в почве. К тому же, в полевых условиях растения часто испытывают одновременно засуху и солевой стресс, что приводит к серьезному нарушению роста. Как засуха, так и солевой стресс оказывают пагубное воздействие на растения в течение всего вегетационного периода, препятствуя прорастанию семян, росту и развитию, цветению и плодоношению. И одиночные и, тем более, сочетающиеся абиотические стрессовые факторы вызывают ряд морфо-анатомических, физиологических и биохимических изменений у растений, негативно влияя на рост и развитие и могут привести к резкому снижению экономической продуктивности. Когда засуха и солевые стрессоры происходят одновременно, морфофизиологические процессы борьбы растений с ними, являясь неспецифическими, в большой степени аналогичны. Но, по сравнению с отдельными стрессорами комбинированные стрессы иногда могут вызывать противоположные, даже антагонистические реакции на различных уровнях организации растений. В целом, в настоящее время существует большой недостаток научной информации относительно последствий комбинированного воздействия стрессоров на сельскохозяйственные культуры.

Устойчивость к стрессу часто повышается по мере созревания растений. Однако даже у галофитов наиболее повреждающие эффекты осмотического и солевого стресса на развитие растений характерны для молодых растений, когда их скорость роста и чувствительность находятся на пике. Поэтому на ранних стадиях развития растений комплексный эффект абиотических

стрессов более губителен. Поэтому крайне важно оценить воздействие как одиночных, так, тем более, и комбинированных стрессов на молодые растения.

На сегодняшний день для киноа относительно хорошо изучена солеустойчивость вида, менее исследована засухоустойчивость и практически совершенно не рассматривалось влияние комбинированного действия стрессовых факторов, которые очень характерны для аридного климата Казахстана с большим количеством засоленных и деградированных земель.

Поэтому предлагаемая тематика исследований является безусловно актуальной.

Объект исследования: *Chenopodium quinoa* Willd.

Предмет исследования: Засухоустойчивость, солеустойчивость, комбинированные стрессы, адаптационные механизмы имматурных растений *Chenopodium quinoa* Willd.

Методы исследования: ботанические, анатомические, физиологические, фитохимические.

Цель работы: Изучить адаптационные механизмы имматурных растений *Chenopodium quinoa* Willd при воздействии одиночных и комбинированных абиотических стрессовых факторов для определения возможностей и рисков перспективы внедрения этой культуры в маргинальные сельскохозяйственные регионы страны.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить анатомические и морфофизиологические параметры *Chenopodium quinoa* Willd. при воздействии осмотического, солевого и комбинированного стрессов;

2. Изучить фотосинтетическую активность фотосистемы II у *Chenopodium quinoa* Willd. при воздействии осмотического, солевого и комбинированного стрессов;

3. Определить изменения в синтезе вторичных метаболитов-антиоксидантов у *Chenopodium quinoa* Willd. при воздействии осмотического, солевого и комбинированного стрессов.

Теоретико-методологическая база исследования:

В данном исследовании был использован сорт киноа «Вахдат» из Таджикистана; семена были предоставлены Центром генетических ресурсов Таджикской академии сельскохозяйственных наук (ЦГР ТААС).

Морфо-анатомические, физиологические и биохимические исследования растений проводились по общепринятым методикам.

Ионы измеряли с помощью пламенного фотометра FPA-2-01. Параметры фотосинтетической активности оценивали с использованием флуориметра Junior-PAM.

Анализ органических соединений проводили методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (Agilent 6890N/5973N) и жидкостной хроматографии (Milichrom-A-02 liquid chromatograph “EcoNova” JSC).

Личный вклад автора в научные результаты: определение цели и задач диссертационной работы, литературный обзор, проведение экспериментов, изложение основных результатов в диссертации проводились лично автором; подготовка тезисов и статей к публикации, обработка результатов исследования, статистический анализ полученных данных осуществлялись с участием совместных авторов.

Научная новизна и значимость диссертационной работы.

Новизна исследований заключается в том, что впервые проведен комплексный анализ влияния солевого, осмотического и комбинированного стрессовых факторов на морфофизиологические параметры, ионный баланс и фотосинтетическую активность имматурных растений *Chenopodium quinoa* Willd. и выявлен уровень стрессового воздействия, являющийся переходным от эустресса к дистрессу.

Впервые с применением хроматомасс-спектрометрии изучен метаболический профиль растений *Chenopodium quinoa* Willd, подвергнутых солевому, осмотическому и комбинированному стрессам и получена информация о влиянии абиотических стрессов на антиоксидантную систему, ценная в контексте возможности применения индуцированного стресса для повышения синтеза БАВ для потребностей пищевой и медицинской промышленности.

Теоретическая значимость научно-исследовательской работы. заключается в том, что выявлены важные морфо-физиологические, фотосинтетические и биохимические закономерности реагирования молодых растений *Chenopodium quinoa* Willd на действие одиночных и комбинированного стрессов, а также показано, что антиоксидантная система в тканях растений является многокомпонентной и включает не только ферменты-антиоксиданты, но и вторичные метаболиты, имеющие фармацевтическую ценность; функциональное взаимодействие антиоксидантных компонентов обусловлено адаптивными стрессовыми реакциями организма. Эти результаты могут быть использованы как для понимания механизмов защиты киноа от неблагоприятных условий, так и для подходов к целенаправленному синтезу ценных БАВ.

Практическая значимость заключается в том, что выявлены уровни абиотических факторов, вызывающие как эустресс, стимулирующий развитие растений, так и дистресс, ведущий к гибели молодых растений киноа, что важно для определения возможностей внедрения этой культуры в маргинальные сельскохозяйственные регионы страны.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Концентрация соли в субстрате играет ключевую роль для поддержания роста киноа, при этом значения от 100 mM до 200 mM NaCl обеспечивают наилучшие условия для развития молодых растений. Комбинированный стресс, вызванный уровнем 200 mM NaCl+ ПЭГ-6000, является для имматурных растений киноа переходным от эустресса к дистрессу.

2. Выявленные механизмы устойчивости к осмотическому, солевому и комбинированному стрессам, такие как водный баланс, морфометрические показатели листа и стебля, активность фотосинтетического аппарата, работа ферментативных и неферментативных антиоксидантов, свидетельствуют о взаимосвязи анатомо-морфологических, физиологических, биохимических, показателей, вследствие чего эти показатели можно считать интегральными и использовать их при тестировании растений на устойчивость к абиотическим стрессам.

3. Выявленное повышение концентрации ферментативных и неферментативных антиоксидантов при действии абиотических стрессов может стать основой метода направленного синтеза ценных БАВ для пищевой и медицинской промышленности.

Личный вклад докторанта в подготовку каждой публикации заключался в сборе данных о предмете исследования, выполнении всех лабораторных исследований, включая анализ, интерпретацию и оформление полученных результатов, подготовке рукописей публикаций.

Рассмотрение и утверждение результатов работы. Результаты диссертационной работы доложены и опубликованы в сборниках Материалов международных научно-практических конференций: Материалы международной научной конференции «Становление и развитие экспериментальной биологии в Таджикистане», Душанбе: Дониш, 2022, – с.56 ; Материалы X съезда Общества физиологов растений России «Биология растений в эпоху глобальных изменений климата» 18-23 сентября 2023 года, г. Уфа, – с.422; Материалы международной конференции студентов и молодых ученых «Фараби Элемі» 6-8 апреля 2023,-с 38; Материалы международной конференции студентов и молодых ученых «Фараби Элемі» 4-5 апреля 2024,-с.32;

Основные результаты диссертации ежегодно заслушивались на научно-техническом совете факультета «Биология и биотехнология», на заседаниях кафедры «Биоразнообразие и биоресурсов» КазНУ им. аль-Фараби и Ученом Совете РГП на ПХВ «Институт генетики и физиологии».

Публикация результатов исследования. Основное содержание диссертации опубликовано в 9 печатных работах, в том числе в 2 статьях в международных рецензируемых журналах с импакт-фактором, входящих в базы данных Scopus и Web of Science (Q1, %67 и Q3, %44); 3 статьи в журналах из перечня изданий, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования (КОКСОН) МНВО РК для публикации основных результатов научной деятельности, 4 тезиса в сборниках Материалов международных и республиканских конференций, из которых 2 зарубежные. *h-index* автора – 2 (<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57219198742>)

Структура и объем работы. Диссертация состоит из 92 страниц текста: введения, обзора литературы, материалов и методов, результатов и обсуждения, заключения, 211 источников библиографии, 4 таблиц, 25 рисунков.