

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 633.171: 631.671.3
<https://agroconf.sgau.ru>

Агробиологическая оценка проса посевного (*Panicum miliaceum* L.) и его механизм устойчивости к абиотическим факторам в условиях Нижнего Поволжья

Владислав Петрович Кухаренко, Александр Геннадьевич Субботин
Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия.

Аннотация. В статье проводится агробиологическая оценка проса посевного (*Panicum miliaceum* L.) и анализ механизмов его устойчивости к абиотическим стрессорам в условиях засушливого Нижнего Поволжья. Актуальность исследования обусловлена возрастающими потерями урожайности традиционных культур из-за климатических изменений и деградации почв. На основе сравнительного и структурно-функционального анализа научных данных авторы выявляют комплекс морфо-физиологических адаптаций проса. Ключевыми факторами засухоустойчивости являются: низкий коэффициент транспирации, С4-тип фотосинтеза, позволяющий минимизировать потери влаги, и мощная корневая система, достигающая глубоких почвенных горизонтов. Устойчивость к высоким температурам обеспечивается повышенной термостабильностью белков, синтезом осмолитов и активной антиоксидантной системой. Высокая солеустойчивость культуры объясняется избирательной способностью корней, компартментализацией солей в старых листьях и осмотической регуляцией. Просо обладает комплексной резистентностью к засухе и засолению, что делает его перспективной культурой для обеспечения продовольственной безопасности в регионах с рискованным земледелием.

Ключевые слова: просо обыкновенное, адаптация, устойчивость к стрессу

Для цитирования: Кухаренко В.П., Субботин А.Г. Агробиологическая оценка проса посевного (*Panicum miliaceum* L.) и его механизм устойчивости к абиотическим факторам в условиях Нижнего Поволжья // Аграрные конференции. 2026. № 55(1). С. 17-23. <http://agroconf.sgau.ru>

Original article

Agrobiological assessment of common millet (*Panicum miliaceum* L.) and its mechanism of resistance to abiotic factors in the conditions of the Lower Volga region**Vladislav Petrovich Kukhareenko, Alexander Gennadievich Subbotin**

Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract. This article provides an agro-biological assessment of proso millet (*Panicum miliaceum* L.) and an analysis of its resistance mechanisms to abiotic stressors in the arid conditions of the Lower Volga region. The relevance of the study is driven by increasing yield losses of traditional crops due to climate change and soil degradation. Based on a comparative and structural-functional analysis of scientific data, the authors identify a complex of morpho-physiological adaptations in millet. Key factors of drought tolerance include low transpiration rate, C4 photosynthesis which minimizes water loss, and a powerful root system that reaches deep soil horizons. Resistance to high temperatures is ensured by increased protein thermostability, the synthesis of osmolytes, and an active antioxidant system. The crop's high salt tolerance is explained by the selective ability of its roots, compartmentalization of salts in old leaves, and osmotic regulation. Millet possesses complex resistance to drought and salinity, making it a promising crop for ensuring food security in regions with risky agriculture.

Keywords: proso millet, adaptation, stress resistance

For citation: Kukhareenko V.P., Subbotin A.G., Letuchiy A.V. Agrobiological assessment of common millet (*Panicum miliaceum* L.) and its mechanism of resistance to abiotic factors in the conditions of the Lower Volga region // Agrarian Conferences, 2026; (55(1)): 17-23 (InRuss.). <http://agroconf.sgau.ru>

Введение. В процессе эволюции растений происходило создание сложного механизма окислительно-восстановительных реакций внутри клетки. Что в конечном итоге привело к созданию огромного количества видов растений, различающихся по морфологическим и физиологическим признакам. По научным данным, на 2023 год в мире насчитывали порядка 350386 видов высших растений [11]. В условиях усиливающейся засухи особый интерес в настоящее время заслуживает такое растение как просо. В коллекции ВИР насчитывается порядка 400 видов этой ценной крупяной культуры [10]. Ценность культуры заключается в высоком содержании белка и жира, а также растения способны давать полноценный урожай в аридных условиях и в условиях засоления [5, 10]. Современная селекция решает задачи по созданию новых сортов имеющих комплексную устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды [6]. Учёные получают новые объекты интеллектуальной собственности с учётом имеющего опыта и знаний о

механизмах, лежащих в основе устойчивости растений биотическому и абиотическому стрессорам. Так как абиотический стресс растений несет существенные убытки для производителей продукции растениеводства, вследствие потерь урожайности, актуальность понимания процессов борьбы, с этими стрессами протекающих внутри растения, очень важна [2, 8]. А так как просо по своим биологическим особенностям обладает высокой засухо и соле - устойчивостью на его примере возможно сделать анализ механизма борьбы с стрессами и по аналогии сравним с устойчивостью с другими растениями. Анализ материалов отечественных и зарубежных учёных показывает механизм преодоления стресс-факторов [8, 9].

Методика исследований. При проведении данной работы использовали сравнительный, структурно-функциональный, причинно-следственный анализ и методы структурирования. Для анализа использовали результаты научных исследований по физиологии, морфологии растений проса из различных источников.

Результаты исследований. В условиях стремительного изменения климата, когда засухи и деградация почв становятся все более частым явлением, перед человечеством остро встает вопрос продовольственной безопасности. Традиционные полевые культуры, такие как пшеница и кукуруза, зачастую не выдерживают экстремальных температур, засоления и дефицита воды. Для стабилизации производства зерна в засушливых регионах их необходимо заменить на просо [10]. Просо обыкновенное относится к древнейшим злаковым культурам, чья высокая устойчивость к засухе, жаре и засолённости почв является результатом сложным адаптационным механизмом практически на всех уровнях. А именно от морфологических особенностей растений (корневой и надземной системы) до молекулярных механизмов протекания окислительно-восстановительных реакций, протекающих внутри клетки [8].

В результате изучения научных данных выявлено, что растения проса эффективно используют влагу за счёт низкого коэффициента транспирации. Отмечено, что культура расходует на формирование единицы сухого вещества незначительные объёмы влаги. Для создания 1 грамма сухого вещества кукурузе необходимо 300-400 г. воды, а для проса - всего лишь 200-250 грамм [4]. Что объясняется особенностями строения устьиц, их размерами и высокой плотностью. Такое строение позволяет более эффективно регулировать газообмен. Они могут приоткрываться ровно настолько, чтобы обеспечить фотосинтез, при этом минимизировать испарение. Огромную роль так же играет и расположение устьиц у проса. Они немного погружены в ткань листа, что создает дополнительный барьер для испарения. Помимо этого, наличие опушения на листьях и стеблях создаёт так называемый застойный слой воздуха. В котором атмосферный воздух насыщен парами влаги, что резко снижает градиент влажности между листом и атмосферой - основную движущую силу транспирации. Наличие толстой кутикулы позволяет сократить значительные потери влаги через клетки эпидермиса, минуя устьица. Это является своеобразным механизмом против испарения [8].

Ряд исследователей утверждают, что внутренняя ткань листа у проса имеет более плотное строение и меньшее количество межклеточных пространств. Вследствие этого снижается внутренняя поверхность испарения, откуда водяной пар может поступать к устьицам [9].

Оценка морфологических особенностей показывает, что в первый период жизни просо интенсивно формирует корневую систему, которая способна проникать на глубину до 1,0-2,0 метров, извлекая влагу из подпахотных горизонтов почвы, при этом недоступных для многих других культур (пшеницы, ячменя, овса и др.) [4, 5].

Существенную роль в противостоянии к засухе является механизм дыхания растений. Для пшеницы и большинства других злаковых культур характерен обычный для нас фотосинтез без накопления CO_2 в своих клетках (С3 тип фотосинтез). У проса же отмечается С4-тип фотосинтеза. У растений С4-типа фотосинтез пространственно разделен: поглощение CO_2 происходит в одних клетках, а его непосредственная переработка - в других. Это позволяет им поглощать достаточное количество CO_2 при сильно прикрытых устьицах. В результате: газообмен (и, следовательно, испарение) минимален, а фотосинтез продолжается с высокой интенсивностью. Для сравнения, растениям С3-типа (пшеница, рис, соя) для того же объема фотосинтеза нужно держать устьица более открытыми и терять гораздо больше воды [8].

Устойчивость к высоким температурам обусловлена резистентностью к свёртыванию протоплазмы клеток (до $+40+45^\circ\text{C}$), что позволяет растению выдерживать значительные температурные стрессы. В обычных условиях белки и другие компоненты живой клетки (протоплазма) находятся в стабильном, коллоидном состоянии. Высокая температура приводит к денатурации белков, их слипанию, коагуляции и соответственно некрозу клеток. У растений проса природой заложена устойчивость к неблагоприятным факторам за счёт повышенной термостабильности самих белков, накоплению особых веществ - совместимых осмолитов - термопротекторов (пролина и глицинбетаина и растворимые сахара) [2, 8]. Помимо этого, происходит активизация процессов антиоксидантной системы. Высокая температура провоцирует в клетке оксидативный стресс — резкое увеличение производства токсичных активных форм кислорода (АФК), которые повреждают белки, липиды и ДНК. Просо обладает мощной и быстро активируемой системой антиоксидантов: это как ферменты (супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза), так и неферментативные антиоксиданты (например, токоферолы - витамин Е). Эта система мгновенно нейтрализует АФК, не давая им атаковать и разрушать белки, что косвенно предотвращает свертывание протоплазмы [2, 9]. При повышенных температурах происходит стабилизация клеточных мембран - клетки проса трансформируют состав липидов своих мембран, увеличивая количество насыщенных жирных кислот. Увеличивается за счёт этого процесса плотность и сохраняется стабильность при более высоких температурах. Увеличение температуры свыше $+250^\circ\text{C}$ запускает механизм синтеза специальных белков теплового шока - распознают частично поврежденные

белки, помогают им заново свернуться и принять правильную форму и тем самым предотвращают их слипание в нерастворимые комки [8, 9].

Существенным преимуществом проса среди злаковых культур является их высокая солеустойчивость. Нарушение в применении удобрений, вторичном засолении или наличие солонцов приводит к исключению из использования значительных площадей. Для рассоления почв возможно выращивание таких солеустойчивых культур как прутняк, терескен, просо и др. [1]. В научной литературе встречаются результаты исследований, где изучена электропроводность различных культур. Так, для культуры проса этот порог составляет 6-8 dS/m (дециСименс на метр), у пшеницы порядка 4-6 dS/m, а у риса около 3-4 dS/m. Данный факт показывает возможность выращивания проса на засоленных почвах [5, 8]. Выявлена избирательная способность корневой системы этой ценной крупяной культуры. Происходит фильтрация влаги - сдерживается проникновение токсичных ионов натрия (Na^+) и хлора (Cl^-) и больше полезных ионов калия (K^+) и кальция (Ca^{2+}) [8]. Кроме того, культура способна локализовать соли в отдельных частях растений - может накапливать поглощенные соли в старых листьях и вакуолях клеток. Это препятствует проникать солям в цитоплазму клеток и оказывать токсическое действие на жизненно важные процессы. Старые листовые пластинки, накопившие критическое количество соли, отмирают и тем самым защищают растения от повреждений [1, 8].

Многие данные подтверждают важность синтеза совместимых осмолитов в противодействии к засухе и засоленности почвы. При высоком содержании солей в почве влаге сложно проникнуть в корневую систему (возникает осмотический стресс). Реакцией растений на увеличивающуюся концентрацию соли в клетках является синтез специальных органических веществ - пролина, глицинбетаин и других растворимых углеводов. Фактически эти вещества безвредны для клетки, но способствуют увеличению концентрации раствора внутри нее. В свою очередь происходит выравнивание осмотического давления, и вода снова начинает поступать в растение из засоленной почвы [2, 8]. Антиоксидантная защита: солевой стресс вызывает в растениях окислительный стресс (образование активных форм кислорода, которые повреждают клетки). Просо активирует мощную антиоксидантную систему (ферменты типа супероксиддисмутазы), которая нейтрализует эти вредные соединения [2, 9]. Сочетание этих двух свойств делает просо культурой будущего в условиях изменения климата: Оно может расти на бедных, засушливых, засоленных землях, непригодных для других зерновых. Требуется значительно меньше воды для полива. Является ценной и питательной культурой (не содержит глютена, богато белком, витаминами и микроэлементами) [10].

Заключение. Анализ научных данных показывает, что просо обладает высокой резистентностью к засухе различных видов засоления в результате сложного механизма адаптации на различных уровнях [4, 8, 9].

Список источников

1. Аминева, Е. Ю. Оценка солеустойчивости *Populus L.* в условиях моделируемого стресса *in vitro* / Е. Ю. Аминева, Т. М. Табацкая, О. С. Машкина // *Современные проблемы науки и образования.* – 2023. – № 2. – С. 45–52.
2. Вогулкина, Н. В. Физиолого-биохимические особенности устойчивости злаков к абиотическим стрессам : учебно-методическое пособие / Н. В. Вогулкина, И. М. Морозова, Л. Н. Шандрикова ; рецензент В. Л. Федотов. – Витебск : ВГУ им. П.М. Машерова, 2023. – 84 с.
3. Ирисханова, З. И. Лабораторные работы по физиологии растений : практикум / З. И. Ирисханова. – Грозный : Чеченский государственный университет, 2022. – 76 с.
4. Сокурова, Л. Х. Лимитирующие факторы продукционного процесса проса посевного в Кабардино-Балкарии / Л. Х. Сокурова // *Земледелие.* – 2023. – № 4. – С. 18–22.
5. Dogra, R. K. Millets: Seed Production Guide / R. K. Dogra, Rohit Verma, Akanksha Sharma. – New Delhi : Indian Council of Agricultural Research, 2020. – 52 p.
6. Millet Seed Technology: Seed Production, Quality control & Legal compliance / V. A. Tonapi [et al.]. – Hyderabad : Indian Institute of Millets Research, 2015. – 298 p. – ISBN 81-89335-54-5.
7. Physiological, metabolomic, morphological and root system architecture acclimation responses to drought in the African orphan millet white fonio (*Digitaria exilis*) / A. G. Tovignan [et al.] // *Plant and Soil.* – 2025. – Vol. 512, № 1-2. – P. 1529–1558. – DOI: 10.1007/s11104-024-06933-2.
8. Morpho-Physiological, Biochemical and Molecular Adaptation of Millets to Abiotic Stresses / K. K. Vinod [et al.] // *Phyton-International Journal of Experimental Botany.* – 2021. – Vol. 90, № 5. – P. 1363–1385.
9. Comparative analysis of proso millet (*Panicum miliaceum L.*) leaf transcriptomes for insight into drought tolerance mechanisms / Y. Shi [et al.] // *BMC Plant Biology.* – 2019. – Vol. 19, № 1. – Art. № 397. – DOI: 10.1186/s12870-019-2001-x.
10. Раскрываем потенциал проса. Международный год проса 2023 : справочный документ / ФАО. – Рим : Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, 2024. – 98 с.
11. State of the World's Plants and Fungi 2023 / Royal Botanic Gardens, Kew. – Richmond, UK : Royal Botanic Gardens, Kew, 2023. – 214 p. – DOI: 10.34885/wnwn-6s63.

Reference

1. Amineva, E. Yu. (2023). Evaluation of Salt Tolerance in *Populus L.* under Simulated *in vitro* Stress. *Modern Problems of Science and Education*, (2), 45–52.
2. Vogulkina, N. V., Morozova, I. M., & Shandrikova, L. N. (2023). *Physiological and Biochemical Features of Cereal Resistance to Abiotic Stresses: A Teaching Guide.* Vitebsk: VSU named after P.M. Masherov.

3. Iriskhanova, Z. I. (2022). Laboratory Works on Plant Physiology: A Practical Guide. Grozny: Chechen State University.
4. Sokurova, L. Kh. (2023). Limiting Factors of the Production Process of Proso Millet in Kabardino-Balkaria. *Zemledelie*, (4), 18–22.
5. Dogra, R. K., Verma, R., & Sharma, A. (2020). *Millets: Seed Production Guide*. New Delhi: Indian Council of Agricultural Research.
6. Tonapi, V. A. [et al.] (2015). *Millet Seed Technology: Seed Production, Quality control & Legal compliance*. Hyderabad: Indian Institute of Millets Research. ISBN 81-89335-54-5.
7. Tovignan, A. G. [et al.] (2025). Physiological, Metabolomic, Morphological and Root System Architecture Acclimation Responses to Drought in the African Orphan Millet White Fonio (*Digitaria exilis*). *Plant and Soil*, 512(1-2), 1529–1558. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06933-2>
8. Vinod, K. K. [et al.] (2021). Morpho-Physiological, Biochemical and Molecular Adaptation of Millets to Abiotic Stresses. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 90(5), 1363–1385.
9. Shi, Y. [et al.] (2019). Comparative Analysis of Proso Millet (*Panicum miliaceum* L.) Leaf Transcriptomes for Insight into Drought Tolerance Mechanisms. *BMC Plant Biology*, 19(1), 397. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-2001-x>
10. *Unlocking the Potential of Millets. International Year of Millets 2023: A Reference Document*. (2024). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
11. Royal Botanic Gardens, Kew. (2023). *State of the World's Plants and Fungi 2023*. Richmond, UK: Royal Botanic Gardens, Kew. <https://doi.org/10.34885/wnwn-6s63>

Статья поступила в редакцию 14.01.2026; одобрена после рецензирования 09.02.2026; принята к публикации 23.02.2026.

The article was submitted 14.01.2026; approved after reviewing 09.02.2026; accepted for publication 23.02.2026.