АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ У ПРОРОСТКОВ *Atriplex pratovii* И *Atriplex moneta* ПРИ СОЛЕВОМ СТРЕССЕ

Матчанова Дурдона Шапуровна
канд. Биол. Наук, PhD., ст. преподаватель
Ташкентского химико-технологического института,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: M_durdona@mail.ru

Исакова Шахноза Холтура кизи
канд. Техн. Наук, PhD, ст. преподаватель ТКТИ,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: Sahnozai220@gmail.com

Назаров Голиб Абдишукур ўгли
канд. Хим. Наук, PhD, ст. преподаватель ТКТИ,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: nazarovgolib05@gmail.com

Алиева Гавхар Валиджон кизи
ассистент ТКТИ,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: gavharaliyeva1@gmail.com

ANTIOXIDANT ACTIVITY IN SEEDLINGS OF *Atriplex pratovii* AND *Atriplex moneta* UNDER SALT STRESS

Matchanova Durdona
PhD., senior lecturer
at the Tashkent Institute of Chemical Technology,
Uzbekistan, Tashkent

Isakova Shakhnoza
PhD., senior lecturer at TICT,
Uzbekistan, Tashkent

Nazarov Golib
PhD., senior teacher of TICT,
Uzbekistan, Tashkent

Aliyeva Gavkhar
assistant of TICT,
Uzbekistan, Tashkent

АННОТАЦИЯ

Актуальность исследования связана с растущей проблемой засоления почв, которая негативно влияет на рост и развитие растений, снижая урожайность сельскохозяйственных культур. Растения галофиты, такие как представители рода *Atriplex*, обладают механизмами адаптации к высокому содержанию соли в окружающей среде, в том числе за счет активации антиоксидантной системы. Целью работы являлось изучение динамики активности антиоксидантных ферментов – пероксидазы (ПО) и супероксиддисмутазы (СОД) – у проростков *Atriplex pratovii* и *Atriplex moneta* в условиях солевого стресса. Исследования показали, что на начальных стадиях роста (3-е сутки) у обоих видов наблюдается высокая активность ПО и СОД, что связано с резким увеличением продукции активных форм кислорода (АФК). По мере увеличения длительности воздействия стресс-фактора активность ферментов снижалась, что может свидетельствовать о постепенной адаптации растений и снижении интенсивности окислительного стресса. Установлено, что *A. Pratovii* демонстрирует более высокий уровень антиоксидантной активности по сравнению с *A. Moneta*, что указывает на его большую устойчивость к засолению. Полученные данные расширяют представление о механизмах адаптации галофитов к неблагоприятным условиям

Библиографическое описание: АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ У ПРОРОСТКОВ Atriplex pratovii И Atriplex moneta ПРИ СОЛЕВОМ СТРЕССЕ // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. Матчанова Д.Ш. [и др.]. 2025. 10(136). URL: *https://7universum.com/ru/nature/archive/item/20880*

среды и могут быть использованы при разработке биотехнологических подходов к повышению солеустойчивости сельскохозяйственных растений.

ABSTRACT

The relevance of this study is associated with the growing problem of soil salinization, which negatively affects plant growth and development, leading to a significant decrease in agricultural crop yields. Halophyte plants, such as representatives of the genus *Atriplex*, possess physiological and biochemical mechanisms of adaptation to high salt concentrations in the environment, including the activation of the antioxidant defense system. The aim of this work was to investigate the dynamics of the activity of key antioxidant enzymes—peroxidase (PO) and superoxide dismutase (SOD) – in seedlings of *Atriplex pratovii* and *Atriplex moneta* under salt stress conditions. The study revealed that at the early stages of growth (day 3), both species demonstrated high PO and SOD activity, which was associated with a sharp increase in the production of reactive oxygen species (ROS) in response to stress. As the duration of exposure to salt stress increased, the activity of these enzymes gradually decreased, indicating the possible formation of adaptive mechanisms and a reduction in oxidative stress intensity. Comparative analysis showed that *A. pratovii* exhibited higher antioxidant enzyme activity compared to *A. moneta*, suggesting greater salt tolerance in this species. The findings expand our understanding of the physiological mechanisms of halophyte adaptation to adverse environmental conditions and may be applied in the development of biotechnological and breeding strategies aimed at improving the salt tolerance of agricultural crops.

Ключевые слова: *Atriplex pratovii, Atriplex moneta,* антиоксидантные ферменты, пероксидаза, супероксиддисмутаза, солевой стресс, активные формы кислорода, адаптация растений.

Keywords: *Atriplex pratovii, Atriplex moneta,* salt stress, antioxidant enzymes, superoxide dismutase, peroxidase, reactive oxygen species, plant adaptation.

Введение

Засоление почв является одной из глобальных экологических проблем, затрагивающих значительные площади сельскохозяйственных угодий и приводящих к снижению урожайности культур [1, 2]. В условиях солевого стресса у растений нарушаются ключевые физиологические процессы, такие как фотосинтез и дыхание, что сопровождается повышенным образованием активных форм кислорода (АФК) [3, 4]. Избыточное количество АФК вызывает окислительное повреждение клеточных структур — липидов мембран, белков и нуклеиновых кислот, что приводит к нарушению клеточного гомеостаза [5].

Для защиты от окислительного стресса растения используют сложную антиоксидантную систему, включающую неферментативные соединения (флавоноиды, каротиноиды, аскорбат, глутатион) и ферменты (супероксиддисмутаза, пероксидаза, каталаза, аскорбатпероксидаза и др.) [6]. Супероксиддисмутаза (СОД) катализирует превращение супероксидного анион-радикала в перекись водорода, которая затем разрушается пероксидазой (ПО) или каталазой, предотвращая накопление токсичных форм кислорода [7].

Род *Atriplex* (семейство Amaranthaceae) включает галофитные виды, способные выживать в условиях высокого содержания солей в почве. Однако различия в устойчивости видов к засолению и механизмах их адаптации изучены недостаточно.

Цель исследования: определить активность антиоксидантных ферментов — пероксидазы и супероксиддисмутазы — у проростков *Atriplex pratovii* и *Atriplex moneta* в условиях солевого стресса и выявить динамику изменения этих показателей на разных стадиях прорастания.

Материалы и методы исследования

Для определения активности антиоксидантных ферментов семена *Atriplex pratovii* и *Atriplex moneta* стратифицировали, т.е. выдерживали семян в течении 10-20 дней в морозильнике. Микрофибрильную часть образцов семян расслаивали, семена обрабатывали (стерилизовали) в слабом растворе перманганата калия ($KmnO_4$) и затем промывали в дистиллированной воде для вымывания ингибиторов. Семена помещали в чашки Петри с увлажнённой фильтровальной бумагой и помещали в термостат при температуре +27+33˚С на 24 часа. Набухшие семена проращивали в течение 7 суток во влажной темной камере при 25˚С.

Определение активности пероксидазы проводили по методу Бояркина [8]. Активность пероксидазы высчитывали по угловому коэффициенту наклона линейного участка кривой изменения оптической плотности, полученной в ходе мониторинга.

Общую активность СОД определяли по ингибированию фотовосстановления нитросинего тетразолия (НСТ) фермента в щелочной среде [9]. Для этого 200 мг проростков видов *A. Pratovii* и *A. Moneta* измельчали в фарфоровой ступке с использованием жидкого азота и тщательно экстрагировали 400 мкл буфера для экстракции (0,1 М Рн 7,4 фосфатного буфера) в соотношении 1:10 в течение 1 часа на шейкере (маятник, CYAN, Langdrop-Belgium CL002 Rotator). Инкубационная среда для определения активности СОД содержала 50 Мм К, Na-фосфатный буфер (Ph-7,4), 172 мкМ НСТ, 210 мкМ метионин, 24 мкМ рибофлавин, 0.1% тритон Х-100. Для определения активности СОД в спектрофотометре измеряли уменьшение оптической плотности в УФ-диапазоне с длиной волны 535 нм**,** после 10 минут инкубации. Активность СОД выражали в усл. Ед. на 1 мг белка за 10 минут (усл. Ед./мг белка).

Результаты и обсуждения

В результате исследования изучена активность антиоксидантных ферментов (пероксидазы и супероксиддисмутазы) у 3-суточных, 5-суточных и 7-суточных проростков проростков *A. Pratovii* и *A. Moneta*. При этом было показано, что у *A. Pratovii* и *A. Moneta* активность ферментов изменяется в зависимости от условий окружающей среды и длительности воздействия солевого стресса (см. табл. 1). В условиях стресса, вызванного соленостью почвы или дефицитом воды, активность ферментов увеличилась, так как они играют важную роль в защите растений от окислительного стресса. Кроме того, следует отметить, что активность обоих ферментов была выше у *A. Pratovii*, чем у *A. Moneta* (табл. 1).

Как видно из таблицы 1, среднее значение активности ПОД у 7-суточных проростков *A. Pratovii* составило 18,78±0,39 ед/мг белка, а у *A. Moneta* – 14,47±0,34 ед/мг белка (p=0,0003). Среднее значение активности ПОД у 5-суточных проростков *A. Pratovii* составило 31,41±0,45 ед/мг белка, а у *A. Moneta* – 20,43± 0,46 ед/мг белка (p=0,0004). Среднее значение активности ПОД у 3-суточных проростков *A. Pratovii* составило 43,13±0,38 ед/мг белка, а у *A. Moneta* – 28,44±0,42 ед/мг белка (p<0,0001).

Кроме того, следует отметить, что при сравнении активности ПОД у 3-, 5- и 7-дневных проростках *A. Pratovii* и *A. Moneta* было обнаружено, что активность фермента у *A. Pratovii* была выше на 14,69; 10,98 и 4,31 Ед/мг белка, соответственно, чем у *A. Moneta*.

Также необходимо отметить, что у обоих видов активность ПОД постепенно снижается с увеличением времени воздействия стрессового фактора, что позволяет предположить о постепенной адаптации фотосинтетической системы к высокому содержанию соли и меньшей генерации АФК, что хорошо коррелирует с литературными данными [10, 11].

При определении активности СОД было показано, что среднее значение 7-мисуточных проростков *A. Pratovii* составило 46,98±0,36 Ед/мг белка, а у *A. Moneta* – 35,52±0,46 Ед/мг белка (p=0,0001). Среднее значение 5-титисуточных проростков *A. Pratovii* составило 62,74±0,6 Ед/мг белка, а у *A. Moneta* – 57,55±0,42 Ед/мг белка (p=0,0023). Среднее значение трехсуточных проростков *A. Pratovii* составило 70,18±0,36 Ед/мг белка, а у *A. Moneta* – 62,25±0,46 Ед/мг белка (p=0,0002).

Таблица 1.

Показатели активности ферментов в растениях рода *Atriplex,* Ед/мг белка, n=3

Время	M±Se		
	A. pratovii	***A. moneta***	**P-Value**
Активность пероксидазы			
3-суточные проростки	43,13± 0,38	28,44± 0,42	<0,0001
5-суточные проростки	31,41± 0,45	20,43± 0,46	0,0004
7-суточные проростки	18,78± 0,39	14,47± 0,34	0,0003
Активность супероксиддисмутазы			
3-суточные проростки	70,18± 0,36	62,25± 0,46	0,0002
5-суточные проростки	62,74± 0,6	57,55± 0,42	0,0023
7-суточные проростки	46,98± 0,36	35,52± 0,46	0,0001

При измерении активности фермента супероксиддисмутазы в 3-, 5- и 7-дневных проростках *A. Pratovii* и *A. Moneta* также было обнаружено, что активность фермента у *A. Pratovii* была выше на 7,93; 5,19 и 11,46 Ед/мг белка, соответственно, чем у *A. Moneta.*

Кроме того, в ходе исследований было подтверждено, что активность фермента супероксиддисмутазы со временем также снижалась у обоих растений. Увеличение активности супероксиддисмутазы в проростках *A. Pratovii* на начальных фазах связано с воздействием стресс-фактора, тогда как последующее снижение активности указывает на адаптацию растения к условиям стресса, что хорошо согласуется с литературными данными [10, 11]

Также необходимо отметить, что у обоих видов активность обоих антиоксидантных ферментов (пероксидазы и супероксиддисмутазы) постепенно снижается с увеличением времени воздействия стрессового фактора, что позволяет предположить о постепенной адаптации фотосинтетической системы к высокому содержанию соли и меньшей генерации АФК. Аналогичные закономерности описаны в литературе для других галофитных растений [10, 11].

Заключение

Установлено, что на ранних стадиях роста проростков у обоих видов *Atriplex* наблюдается высокая активность антиоксидантных ферментов (СОД и ПО), которая снижается по мере адаптации растений к условиям солевого стресса. *A. Pratovii* проявляет более высокую активность антиоксидантной системы по сравнению с *A. Moneta,* что свидетельствует о его большей солеустойчивости. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейших исследований механизмов солеустойчивости галофитов и разработки биотехнологических методов защиты культурных растений от засоления почв.

Список литературы:

1. Flowers T.J., Colmer T.D. Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*. 2015; 206(3): 943-946.
2. Munns R., Tester M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 2008; 59: 651-681.
3. Gill S.S., Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2010; 48: 909-930.
4. Apel K., Hirt H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*. 2004; 55: 373-399.
5. Noctor G., Foyer C.H. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 1998; 49: 249-279.
6. Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*. 2002; 7(9): 405-410.
7. Bowler C., Montagu M.V., Inzé D. Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 1992; 43: 83-116.
8. Бояркин А.Н. Методы спектрофотометрического определения активности ферментов. *Биохимия растений*. М., 1985. С. 352-357.
9. Beauchamp C., Fridovich I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*. 1971; 44: 276-287.
10. Ashraf M., Harris P.J.C. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*. 2013; 51: 163-190.
11. Zhu J.K. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Biology*. 2002; 53: 247-273.