CZU: 577.15:633.854.78:574.24 **https://doi.org/10.59295/sum6(186)2025_29**

ИЗМЕНЕНИЕ ПЕРОКСИДАЗНОЙ АКТИВНОСТИ В ПРОРОСТКАХ ПОДСОЛНЕЧНИКА В УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРОВАННОГО ВОДНОГО СТРЕССА

Анжела РУДАКОВА, Ала КЕРДИВАРА, Сергей РУДАКОВ,
Государственный Университет Молдовы

Была определена общая активность пероксидазы в листьях 9 генотипов подсолнечника (Helianthus annuus) под воздействием искусственно вызванной засухи с использованием полиэтиленгликоля (ПЭГ). Также были изучены электрофоретические профили изоферментов пероксидазы контрольных и опытных образцов. Наибольшее увеличение активности пероксидазы в условиях сильной засухи продемонстрировали два генотипа (H3 и RF3). При изучении электрофоретических спектров изоферментов пероксидазы исследуемых генотипов подсолнечника было идентифицировано 9 изоформ с молекулярными массами от 42 кДа до 121 кДа. Были обнаружены различные изменения в составе изоферментов (интенсивное накопление одних форм, снижение других, синтез de novo двух изоферментов), различающиеся в зависимости от генотипа и интенсивности водного стресса. Таким образом, под влиянием засухи в листьях подсолнечника происходит изменение активности пероксидазы, а именно стимуляция или ингибирование синтеза отдельных изоферментов.

Ключевые слова: *пероксидазная активность, изоферменты, генотипы подсолнечника, засуха, электрофоретические спектры.*

CHANGES IN PEROXIDASE ACTIVITY IN SUNFLOWER SEEDLINGS UNDER CONDITIONS OF INDECED HYDRIC STRESS

Total peroxidase activity was determined in leaves of 9 sunflower genotypes (*Helianthus annuus L.*) under the influence of drought artificially simulated using polyethyleneglycol (PEG). Electrophoretic profiles of peroxidase isoenzymes in control and experimental samples were also studied. The greatest increase in PO activity under severe drought was demonstrated by two genotypes (H3 and RF3).

When studying the electrophoretic spectra of peroxidase isoenzymes in the studied sunflower genotypes, 9 isoforms with molecular masses from 42 kD to 121 kD were found. Under the influence of drought, various processes occurred in the isoenzyme composition of peroxidases in different genotypes: several zones were intensively accumulated, the content of another zone slightly decreased, and some zones were synthesized *de novo*. Consequently, under drought conditions, sunflower seedlings exhibited varying changes in peroxidase activity, including either the stimulation or inhibition of specific isoenzyme synthesis.

Keywords: *peroxidase activity, isoenzymes, sunflower genotypes, drought, electrophoretic spectra.*

Введение

Многие авторы отмечали, что в период абиотического и биотического стрессов в растениях происходит усиленное накопление активных форм кислорода (АФК), таким образом, растения подвергаются окислительному стрессу [1, 2]. Среди АФК выделяют свободнорадикальные частицы (супероксидный анион радикал, гидроксильный радикал, перекисные радикалы) и нейтральные формы (пероксид водорода и синглетный кислород) [3]. Эти соединения имеют высокую реакционную способность и способны окислять практически все классы биологических молекул, что может привести к глубоким повреждениям растительных клеток. Для нейтрализации АФК в растениях существует антиоксидантная система защиты, которая включает в себя антиоксидантные ферменты и низкомолекулярные органические соединения (пролин, полиамины, фенольные соединения) [4, 5].

В ферментативной очистке АФК участвуют многочисленные системы антиоксидантных ферментов, относящихся к оксидоредуктазам. Супероксиддисмутазы (СОД) реагируют с

супероксидным радикалом с образованием H_2O_2. Перекись водорода удаляется каталазами (CAT) и пероксидазами (POX). Среди пероксидаз аскорбатпероксидаза (APX) и глутатионпероксидаза (GPX), которые используют аскорбат и глутатион в качестве доноров электронов соответственно, хорошо известны своей ролью в детоксикации перекиси водорода у растений [6,7,8].

Пероксидазы высоко чувствительны к неблагоприятным воздействиям и широко используются для оценки устойчивости к стрессу [9, 10].

Для пероксидазных ферментов характерно образование большого количества изоферментов, высоко специфичных для каждого вида растений и играющих важную роль в защитных реакциях растений на повреждения различного происхождения [11]. Под влиянием абиотических и биотических факторов среды происходит повышение активности пероксидаз и этим обеспечивается нормальный метаболизм в растениях при стрессах [12]. Вследствие высокого многообразия молекулярных форм этого фермента, синтез *de novo* некоторых изоферментов под влиянием различных факторов среды, может рассматриваться как маркер стрессового состояния растений [13]. Как правило, повышение пероксидазной активности в растении при воздействии тех или иных факторов, например, при избытке/дефиците воды или при инфицировании, может служить маркером устойчивости этого растения к данному фактору среды [14].

Целью нашего изучения было измерение суммарной пероксидазной активности в 9-ти линиях подсолнечника в условиях смоделированного водного стресса, а также исследование количественных и качественных изменений в электрофоретических спектрах пероксидазных ферментов в период стресса.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили 9 генотипов подсолнечника, в частности 3 местные гибрида, условно обозначенные H1-H3, - и их родительские линии: ASC1-ASC3 (линии с цитоплазматической андростерильностью), Rf1-Rf3 (андрофертильные линии, с восстановленной фертильностью).

Для создания осмотического стресса (водный стресс) использовали раствор ПЭГ 6000 в концентрации 20% и 30%. Контролем служила дистиллированная вода. В экспериментальных образцах на стадии появления первой пары настоящих листьев происходила обработка растворами ПЭГ в течение 3 и 6 дней. Отдельные растения через 3 дня обработки ПЭГ вновь регидратировались путем удаления раствора ПЭГ из субстрата, в других продолжался процесс создания засухи.

Получение ферментных вытяжек из растений

Для получения суммарной вытяжки из растения, включающей в себя основные ферменты и белки, проба растительного материала растиралась в ступке с кварцевым песком при соотношении 1:4 (г/мл). Для экстракции был использован фосфатный буфер (0,1 М буфер, pH 7,0). Экстракцию проводили при охлаждении в течение 30 минут. После центрифугирования в течение 10 минут (15 тыс. об./мин) отбирали надосадочную жидкость и быстро замораживали при - 20°C. Содержание белка в ферментных вытяжках определяли, используя метод Брэдфорда [15].

Определение пероксидазной активности

Определения пероксидазной активности осуществляли в реакции с бензидином [16]. Измерения осуществлялись при 520 нм на спектрофотометре СФ-46. В работе представлены средние из трех биологических повторностей и их стандартные ошибки.

Выявление изоферментного спектра пероксидаз

Методом вертикального нативного электрофореза в ПААГ осуществляли разделение пероксидазных ферментов на отдельные изоформы с различным молекулярным весом [17]. В качестве разделяющего и концентрирующего гелей использовали 9 % и 4% гели, соответственно.

Для электрофореза использовали электрофоретическую камеру Mini-PROTEAN Tetra Cell (“Bio-Rad Laboratories, Inc.”, USA). В каждый карман концентрирующего геля вносили равное количество белка. Электрофорез осуществляли в течение 2.5 часов при 10°C и при постоянной силе тока 20 мА. По окончании электрофореза гели обрабатывали бензидиновым реактивом до проявления зон ПО активности примерно в течение 20 - 40 минут.

Полученные зимограммы - сканировали на сканере Epson Expression 10000XL (“GE Healthcare”, USA). При помощи программы Phoretix 1D Advansed - были определены молекулярные массы всех зон в геле, а также рассчитана интенсивность каждой зоны в треках.

Результаты

Анализ суммарной ПО активности

Изучение суммарной пероксидазной активности в листьях проростков подсолнечника под влиянием разной степени засухи показало значительный полиморфизм ответной реакции в разных генотипах (Таблица 1).

Таблица 1. Активность пероксидазных ферментов в листьях различных генотипов подсолнечника под действием водного стресса, (U/min g)

	M	20/3	30/3	20/6	30/6
ASC1	5,98 ± 0,03	5,50 ± 0,15	3,35 ± 0,04	2,90 ± 0,01	5,56 ± 0,04
Rf1	14,59 ± 0,40	8,07 ± 0,17	20,88 ± 0,91	20,02 ± 0,81	30,88 ± 0,92
H1	21,56 ± 0,45	38.60 ± 1,81	9,13 ± 0,08	22,58 ± 0,44	7,11 ± 0,05
ASC2	6,26 ± 0,06	3,36 ± 0,04	4,31 ± 0,04	4,42 ± 0,03	10,26 ± 0,09
Rf2	16,31 ± 0,27	32,37 ± 0,82	10,32 ± 0,09	10,63 ± 0,05	-
H2	1,25± 0,01	1,84± 0,01	0,96 ± 0,01	1,42 ± 0,01	2,72 ± 0,02
ASC3	1,74 ± 0,01	1,05 ± 0,01	1,10 ± 0,01	4,18 ± 0,05	3,70 ± 0,06
Rf3	1,42 ± 0,01	1,49 ± 0,01	1,90 ± 0,02	6,02 ± 0,09	8,17 ± 0,07
H3	0,53 ± 0,01	0,60 ± 0,01	2,54 ± 0,01	7,15 ± 0,09	10,32 ± 0,27

В условиях умеренного стресса (20% ПЭГ, 3 дня) повышение активности ПО продемонстрировали три генотипа. В родительской линии Rf2 пероксидазная активность возросла в 2 раза. В гибридах H1, H2 в условиях слабой засухи активность увеличилась в 1.7 раз и в 1.5 раз, соответственно.

В условиях высокого уровня стресса (30% ПЭГ, 3 дня) существенно возросла пероксидазная активность в генотипе H3 (в 5 раз), в генотипе Rf1 в тех же условиях ПО активность увеличилась в 1.4 раза.

При сильной засухе самое высокое повышение суммарной активности пероксидаз проявили два генотипа. В гибриде H3 при 20% ПЭГ/6 дней активность возросла в 13.5 раза, а при 30% ПЭГ/6 дней - в 19,3 раза. В родительской линии Rf3 - пероксидазная активность повысилась в 4.2 раза при 20/6 и в 5.8 раз при 30/6. Таким образом, оба генотипа могут обладать повышенной устойчивостью к водному стрессу.

В тех же условиях (30%/6 дней) более слабое повышение активности пероксидазных изоферментов проявили три генотипа: Rf1 (в 2,19 раз), ASC3 (2,12 раз) и H2 (в 2,18 раз).

Таким образом, можно заключить, что все три местных гибрида имели повышенный антиоксидантный статус, только при разных условиях засухи. H1 реагировал на умеренную засуху, H2 на умеренную и сильную, но больше всего на высокий уровень стресса отреагировал значительным приростом в ПО активности гибрид H3.

Исследование электрофоретических спектров ПО изоферментов

При изучении электрофоретических спектров ферментов пероксидаз в исследованных генотипах подсолнечника было обнаружено 9 изоферментов с молекулярными массами от 121 кД до 42кД (Рис. 1). Различные генотипы характеризовались полиморфизмом своего пероксидазного состава. (Рис. 1, 2, 3). Под действием засухи в изоферментном составе пероксидаз в разных генотипах происходили разнообразные процессы: несколько зон усиленно накапливались, содержание другой зоны немного снижалось, некоторые зоны синтезировались *de novo.*

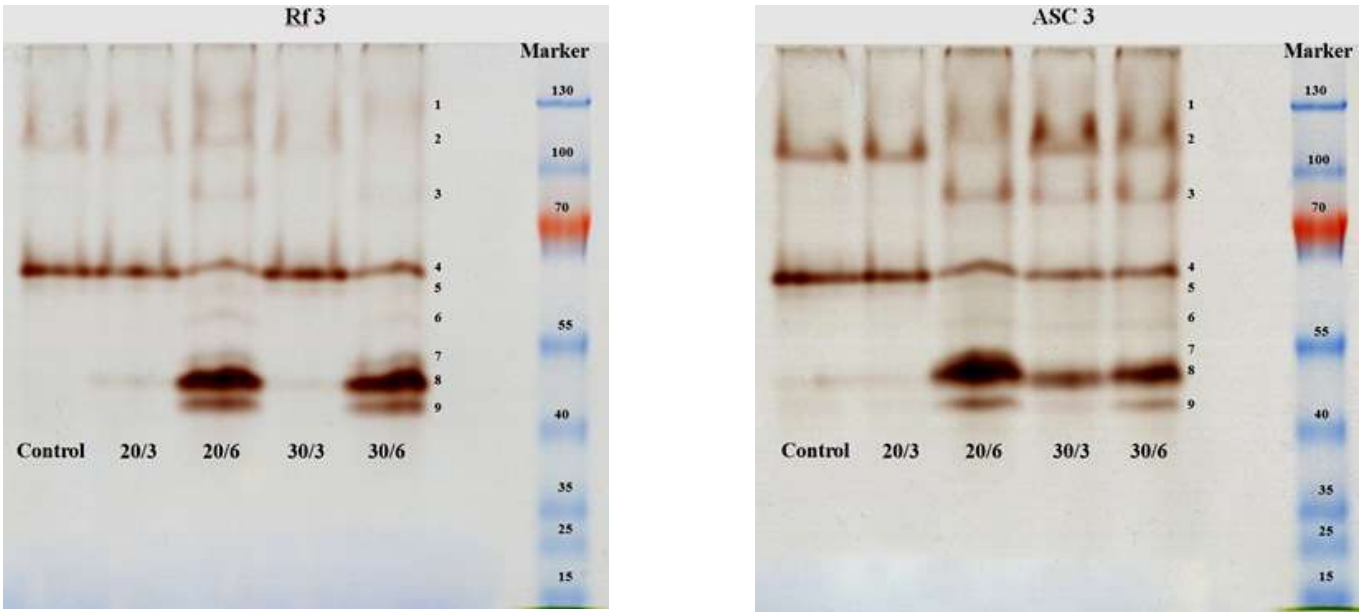


Рис. 1. Электрофоретические профили изоферментов пероксидаз в листьях изученных генотипов подсолнечника (Rf3 , ASC3) в условиях моделированной засухи. На 5 треке обозначены выявленные в образцах пероксидазные зоны, последний трек справа – маркеры молекулярных масс (15 - 130 кД). Внизу указаны условия степени засухи

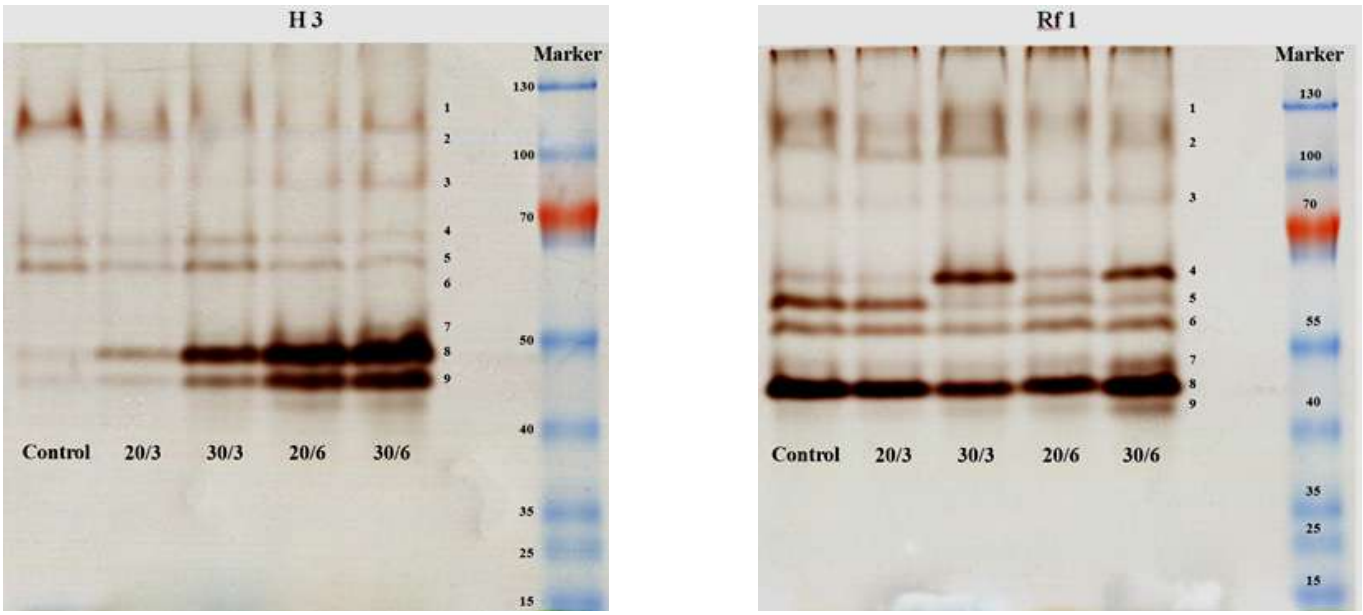


Рис. 2. Электрофоретические профили изоферментов пероксидаз в листьях изученных генотипов подсолнечника (H3, Rf1) в условиях моделированной засухи. На 5 треке обозначены выявленные в образцах пероксидазные зоны, последний трек справа – маркеры молекулярных масс (15 - 130 кД). Внизу указаны условия степени засухи

Было обнаружено, что во всех изученных генотипах группы 3 (H3, ASC3, Rf3) под действием сильной засухи (20%/6 дней и 30%/6 дней) накапливались две основные зоны пероксидаз: зона № 8 (45кД) и зона № 9 (42 кД), в контрольном образце эти зоны присутствовали в следовых количествах (Рис. 1-2).

В условиях средней засухи (30/3 дня) в генотипе Rf3 количество зоны №8 выросло в 2,92 раза, а при сильной засухе (20/6 и 30/6) ее количество возросло в 33,9 раза и в 32,3 раза (Рис. 4). Кроме того, в этом генотипе при усугублении засухи также увеличивалось количество зоны № 9: в 15,1 раз при 20/6 и в 15,3 раза при 30/6. В другом родительском генотипе ASC3 также наблюдался прирост

количества этих двух зон пероксидазных ферментов: при сильной засухе (20/6) количество зоны №8 возросло в 17,3 раза, а зоны № 9 - в 7,64 раза. В генотипе Н3 количество зоны № 8 возросло в 11 и в 13 раз при сильной засухе (20%/6дней и 30%/6дней). Количество зоны № 9 также увеличилось: в 10,2 раза при 20%/6дней и в 10,7 раза при 30%/6дней.

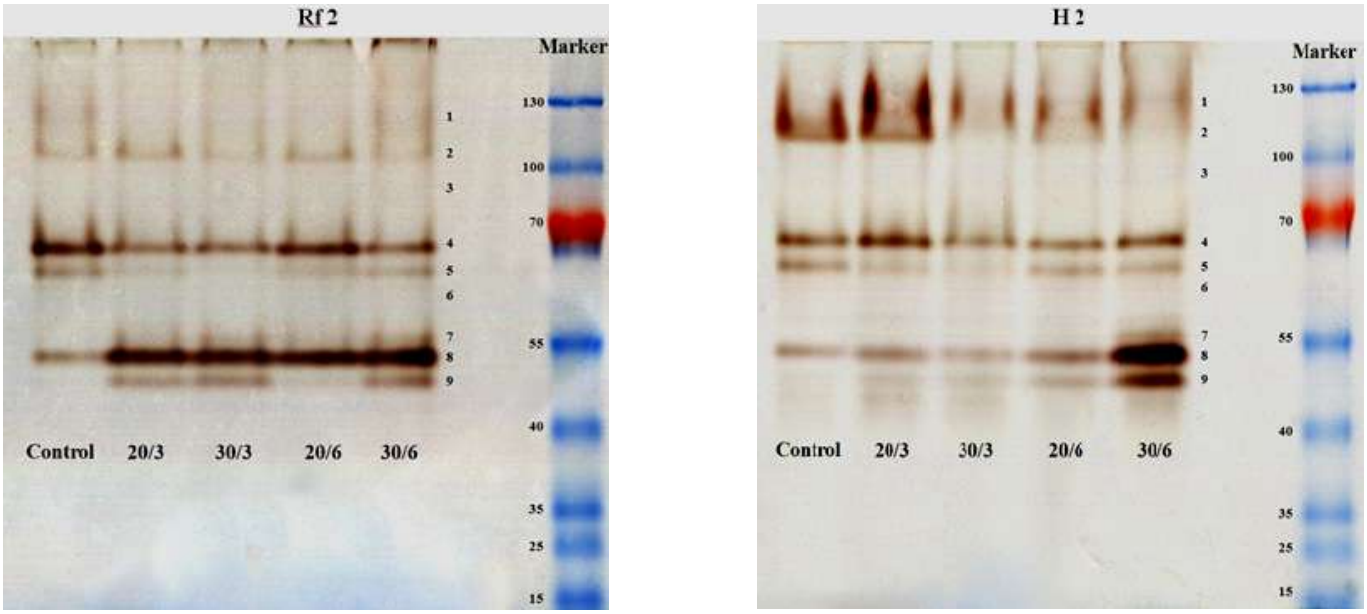


Рис. 3. Электрофоретические профили изоферментов пероксидаз в листьях изученных генотипов подсолнечника (Rf2, H2) в условиях моделированной засухи. На 5 треке обозначены выявленные в образцах пероксидазные зоны, последний трек справа – маркеры молекулярных масс (15 - 130 кД). Внизу указаны условия степени засухи

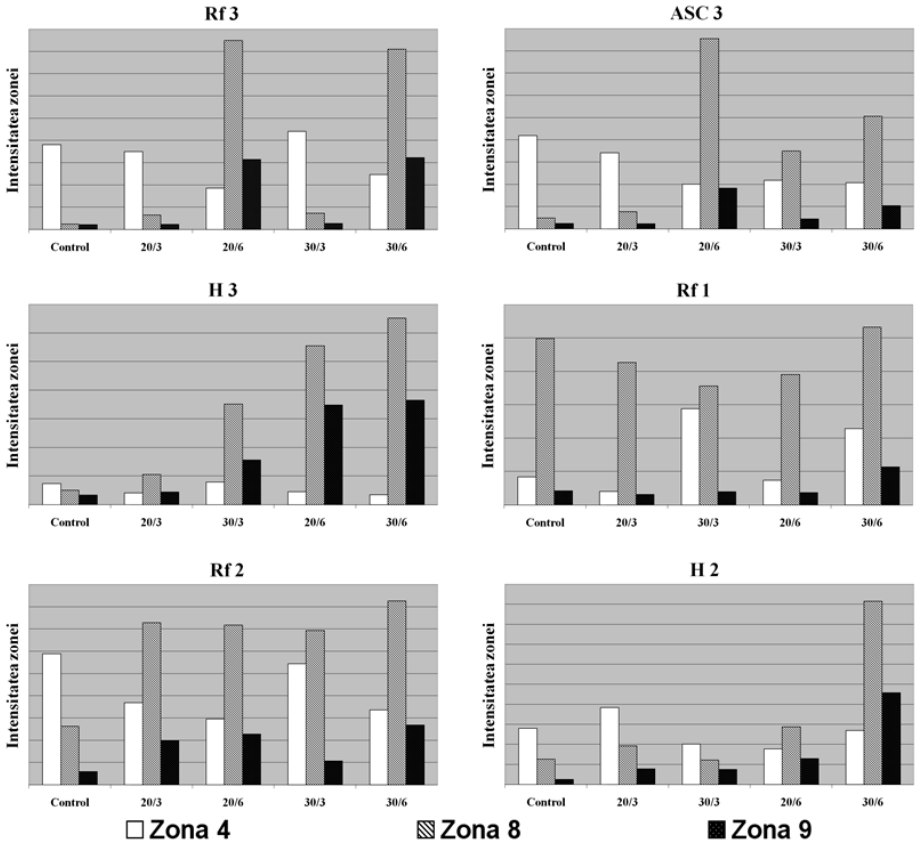


Рис. 4. Диаграммы изменения интенсивности основных ПО изоферментов в изученных гибридах и линиях подсолнечника в условиях усиления засухи

В генотипе Rf1 произошли следующие изменения: в условиях сильной засухи (30% ПЭГ, 6 дней), возросло содержание зоны № 9, ее количество увеличилось в 2,6 раза. Кроме того, при умеренной засухе (30/3 дня) выросло в 3,4 раза количество зоны №4 (молекулярная масса 68 кД), а в условиях сильной засухи ее содержание возросло в 2,7 раза. Таким образом, можно заключить, что в генотипе Rf1 за повышение пероксидазной активности отвечают не только зоны с низким молекулярным весом, но и зона №4 со средней молекулярной массой. (Рис.2).

В образце RF2 уже в условиях слабой засухи (20/3) возросло количество зоны №8, (в 2,8 раза), при сильном стрессе количество этой зоны выросло в 3,14 раза. Зона №9 также начала накапливаться еще при умеренном стрессе – при 20%/6 дней ее количество выросло в 3,82 раза, а при сильной засухе в 4,52 раза (Рис.3).

Гибрид H2 также накапливал зоны №8 и №9 во время сильной засухи. Количество зоны №8 возросло в 2,3 раза при 20/6 и в 7,2 раза при 30/6. Еще больше увеличилось содержание зоны №9 – в 5,14 раз при 20/6 и в 18 раз при 30/6 дней. (Рис.3).

Таким образом, можно предположить, что накопление двух пероксидазных зон с низкой молекулярной массой (№8 и №9) приводит к существенному повышению ПО активности в листьях проростков отдельных генотипов в условиях сильного водного стресса

Выводы

1. Наибольшую степень повышения ПО активности при сильной засухе проявили два генотипа: родительская линия Rf3 и ее гибрид H3, что может указывать на высокую степень их антиоксидантной активности. Самой перспективной из этих двух линий можно считать линию H3, т.к. суммарная пероксидазная активность в этом образце повысилась в 19,5 раз по отношению к контролю.

2. Три местных гибрида продемонстрировали повышенный антиокидантный статус, но при разных условиях засухи. Гибрид H1 отреагировал повышением ПО активности в условиях слабой засухи (+79%), тогда как, H2 давал прирост в активности при слабой (+47%) и сильной засухе (+118%), но больше всего на сильную засуху отреагировал значительным приростом в ПО активности гибрид H3.

3. Исследование изоферментного состава пероксидаз в процессе усугубления засухи показало, что в тех генотипах, которые проявили повышение ПО активности, происходит усиленный синтез *de novo* двух изоферментов - №8 (45 кД) и № 9 (42 кД).

4. Вариабильность ПО активности и полиморфизм изоферментного состава в ответ на засуху в разных генотипах подсолнечника могут являться маркерами для генетической селекции.

Обсуждение

Среди всех видов абиотических стрессов засуха является самым - важным стрессом, лимитирующим рост и продуктивность растений. Растения развили широкий спектр защитных механизмов, чтобы выдерживать постоянное изменение погоды и других условий окружающей среды [18]. Засуха из-за своего осмотического эффекта может вызывать широкий спектр реакций, таких как ингибирование роста и синтез некоторых нетоксичных соединений для повышения осмотического потенциала клетки, что позволяет увеличивать активность некоторых антиоксидантных ферментов [19]. При различных видах стресса, как правило, уровень антиоксидантной активности выше у толерантных генотипов, чем у чувствительных [20]. Увеличение активности пероксидаз в различных стрессовых условиях связано с защитой от окислительного повреждения, лигнификацией клеточной стенки для предотвращения таких неблагоприятных последствий [21]. Увеличение ПО активности в ходе водного стресса было описано в *Arabidopsis italiana* [22], в пшенице [23], в *Brassica napus* [24], *в Arahis hypogaea* [25].

В настоящей работе мы наблюдали значительные отличия в активности антиоксидантных ферментов в разных генотипах подсолнечника под действием засухи (ПЭГ). В результате нашего исследования было обнаружено, что засуха индуцирует повышение пероксидазной активности в листьях 6 генотипов из 9, но уровень повышения активности в разных генотипах очень отличается. По

результатам эксперимента можно заключить, что самый высокий рост антиоксидантной активности при сильной засухе, обнаруженный в гибриде H3, может приводить к наивысшей устойчивости данного генотипа к этому виду стресса.

Синтез *de novo* некоторых пероксидазных изоформ, индуцированный засухой, может служить маркером устойчивости определенных генотипов к данному виду стресса.

Литература:

1. APEL, K., HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. // *Annu. Rev. Plant Biol*., 2004, v.55, p.373-399.
2. SHARMA, P., JHA, A.B., DUBEY, R.S., PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. // *J.Bot.*, 2012, article ID 217037, p.1-26.
3. ПОЛЕССКАЯ, О.Г. *Растительная клетка и активные формы кислорода: учебное пособие*/ О.Г. Полесская; под ред. И.П.Ермакова. – М.:КДУ, 2007, - 140 с.
4. MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. // *Trends in Plant Science*, 2002, v.7, p.405-410.
5. FOYER, C. H., NOCTOR, G. Oxidant and antioxidant signalling in plants: a reevaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. // *Plant, Cell and Environment*, 2005, v.29, p.1056-1071.
6. KUNSTLER, A., BACSO, R., HAFEZ, Y.M., KIRALY, L. Reactive oxygen species and plant disease resistance. // In: *Reactive oxygen species and oxidative damage in plants under stress,* Gupta D.K. (eds), Switzerland: Springer International Publishing, 2015, p. 269-303.
7. SLESAK, I., LIBIK, M., KARPINSKA, B., KARPINSKI, S., MISZALSK, Z. The role of hydrogen peroxide in regulation of plant metabolism and cellular signalling in response to environmental stresses. // *Acta Biochimica Polonica*, 2007, v.54 (1), p.39-50.
8. BERNARDS, M. A.; SUMMERHURST, D.K., RAZEM, F.A. Oxidases, peroxidases and hydrogen peroxide: the suberin connection. // *Phytochemistry Reviews*, 2004, v.3, # 1, p. 113-126.
9. MIRZAEE, M., MOIENI, A., GHANATI, F. Effect of drought stress on the lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in two canola *(Brassica napus L.)* cultivars // *J. Agr. Sci. Tech.* 2013. v.15. p. 593-602.
10. JIANG, M., ZHANG, J. Water stress-induced abscisic acid accumulation triggers the increased generation of reactive oxygen species and up-regulates the activities of antioxidant enzymes in maise leaves // *J. Exp. Botany*. 2002. v.53. Issue 379. p.2401-2410. https://doi.org/10.1093/jxb/erf090
11. ALMAGRO, L., GOMEZ, R. L., BELCHI-NAVARRO, S. et al. Class III peroxidases in plant defense reactions. // *Jour. Exper. Botany*, 2009, 60 (2), p. 377-390.
12. PASSARDI, F., COSIO, C., PENEL, C., DUNAND, C. Peroxidases have more function than a Swiss army knife. // *Plant Cell Reports*, 2005, v.24, p.255-265.
13. РОГОЖИН, В.В. *Пероксидаза как компонент антиоксидантной системы живых организмов*. СП.: ГИОРД, 2004, 240 с.
14. VAN LOON, L.C., REP, M., PIETERS, C.M.J. Significance of inducible defence-related proteins in infected plants. // *Annual. Review of phytopathology*, 2006, v.44, p.135-162.
15. BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. // *Anal. Biochem*., 1979, v.72, p.248-254.
16. ЗЕМЛЯНУХИНА, О.А., КАЛАЕВ, В.Н., ВОРНИНА, В.С. Сравнительный анализ методов определения активности и изоферментного спектра пероксидаз различного происхождения. // *Успехи современного естествознания,* 2017. № 9, с.13-21.
17. DAVIS, B.J. Disc electrophoresis. II. Method and application to human serum proteins. // *Annals of the NY Academy of Science,* 1964, 121. p. 404-427.
18. SHAO, H.B., LIANG, Z.S., SHAO, M.A. Osmotic regulation of 10 Wheat (*Triticum aestivumL.)* genotypes at soil water deficits. // *Colloids Surf.,* 2006, 47, p.32-139.
19. TURKAN, I., BOR, M., OZDEMIR, F., KOCA, H. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought tolerant *P. acutifolius* gray and drought sensitive *P. vulgaris L*. subjected to polyethylene glycol mediated water stress // *Plant Sci*., 2005, 168, p. 223-231.

20. WANG, W.B., KIM, Y.H., LEE, H.S., KIM, K.Y., DENG, X.P., KWAK, S.S. Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt and drought stress // *Plant Physiol. Biochem*., 2009, 47, p. 570-577.
21. MOUSSA, H., ABDEL-AZIZ, S.M. Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maise genjtypes to water stress // *Aust. J. Crop Sci*., 2008, v.1, p.31-36.
22. JUNG, S. Variation in antioxidant metabolism of young and mature leaves of *Arabidopsis italiana* subjected to drought // Plant Sci., 2004, 166, p. 459-466.
23. HASHEMINASAB, H., ASSAD, M. T., ALIAKBARJ, A., SAHHAFI, R. Influence of drought stress on oxidative damage and antioxidant defence systems in tolerant and susceptible wheat genotypes // *J. Agr. Sci*., 2012, 4 (8), p. 20-30.
24. ABEDY, T., PAKNIYAT, H. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape *(Brassica napus L.) // Czech J. Genet. Plant Breed.,* 2010, 46 (1), p. 27-34.
25. CELIKKOL AKCAY, U., ERCAN, O., KAVAS, M, YILDIZ, L., YILMAZ, C., OKTEM, H.A., YUCEL, M. Drought – induced oxidative damage and antioxidant responses in peanut *(Arachis hypogaea L.)* seedlings // Plant Growth Regul. 2010. v.61. p. 21-28. https://doi.org/10.1007/s10725-010-9445-1

N. B.: *Lucrarea a fost realizată în cadrul Subprogramului 011101 Abordări genetice și biotehnologice de management al agroecosistemelor în condițiile schimbărilor climatice, finanțat de Ministerul Educației și Cercetării.*

Date despre autori:
Angela RUDACOVA, doctor în ştiinţe biologice, cercetător coordonator, Centrul Genetică Funcțională, Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0000-0001-9638-2151
E-mail: rud-as@mail.ru

Ala CHERDIVARĂ, doctor în științe biologice, cercetător ştiinţific superior, Centrul Genetică Funcțională, Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0000-0003-1276-4959
E-mail: ala.cherdivara@usm.md

Serghei RUDACOV, cercetător ştiinţific, Centrul Genetică Funcțională, Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0000-0003-2591-6114
E-mail: Rudacov@yahoo.com

Prezentat: 04.08.2025