

Алиса Евгеньевна Мишко^{1✉}, Нина Васильевна Мозар², Вадим Валерьевич Вялков³,

Анна Васильевна Клюкина⁴

1,2,3,4Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия

¹mishko-alisa@mail.ru

²mozhar49@mail.ru

³935346@bk.ru

⁴anna.klyukina.95@list.ru

ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ САХАРОВ И ФЛАВОНОИДОВ В ЛИСТЬЯХ ГРУШИ ПРИ МОДЕЛИРОВАННОМ ОСМОТИЧЕСКОМ СТРЕССЕ

Цель исследования – проведение сравнительной оценки трех сортов груши по содержанию растворимых сахаров и флавоноидов при моделированном осмотическом стрессовом воздействии. Объекты исследования – три сорта груши *Pyrus communis* L.: два сорта Вильямс и Конференция европейского происхождения и один отечественный сорт Фламенко селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия». Имитацию засухи проводили двумя способами. В первом случае листья нарезали на листовые диски диаметром 1 см, затем погружали их в 20 % раствор полиэтиленгликоля (ПЭГ-6000) на 2 ч при комнатной температуре. Контроль – раствор буфера, не содержащий полиэтиленгликоль. Второй способ – помещение побегов груши в раствор 15 % сорбитола на сутки при комнатной температуре, где контролем была вода. Воздействие 15 % сорбитола вызывало более интенсивный синтез первичных и вторичных метаболитов по сравнению с 20 % раствором ПЭГ. В июле увеличение накопления сахаров по сравнению с контролем было отмечено у сорта Конференция (25,6 мг экв. глюкозы/г сырого веса), в августе этот показатель резко увеличился у сортов Фламенко и Вильямс до 24,3 и 25,7 мг экв. глюкозы/г сырого веса соответственно. Значительный рост содержания флавоноидов в ответ на стрессовое воздействие сорбитола был установлен в августе для сортов Фламенко и Конференция, у которых средние показатели изменились с 2,1 и 2,5 до 3,6 и 4,2 мг/г сырого веса соответственно. Обработка листовых дисков ПЭГ не инициировала усиление синтеза первичных и вторичных метаболитов. Более эффективным способом создания осмотического стресса в тканях листьев груши являлась обработка раствором сорбитола.

Ключевые слова: сорта груши, растворимые сахара, флавоноиды, полиэтиленгликоль, сорбитол, осмотический стресс

Для цитирования: Динамика накопления сахаров и флавоноидов в листьях груши при моделированном осмотическом стрессе / А.Е. Мишко [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 3. С. 29–37. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-3-29-37.

Благодарности: исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 22-26-20072.

Alisa Evgenievna Mishko^{1✉}, Nina Vasilievna Mozhar², Vadim Valerievich Vyalkov³,

Anna Vasilievna Klyukina⁴

1,2,3,4North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar, Russia

¹mishko-alisa@mail.ru

²mozhar49@mail.ru

³935346@bk.ru

⁴anna.klyukina.95@list.ru

SUGARES AND FLAVONOIDS ACCUMULATION DYNAMICS IN PEAR LEAVES UNDER SIMULATED OSMOTIC STRESS

The purpose of the study is to conduct a comparative assessment of three pear varieties in terms of the content of soluble sugars and flavonoids under simulated osmotic stress. The objects of the study are three varieties of pear *Pyrus communis* L.: two varieties Williams and Conference of European origin and one domestic variety Flamenco selected by the North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking. Drought was simulated in two ways. In the first case, the leaves were cut into leaf disks with a diameter of 1 cm, then immersed in a 20 % solution of polyethylene glycol (PEG-6000) for 2 hours at room temperature. Control is buffer solution not containing polyethylene glycol. The second method is to place pear shoots in a solution of 15 % sorbitol for a day at room temperature, where water was the control. Exposure to 15 % sorbitol caused more intense synthesis of primary and secondary metabolites compared to 20 % PEG solution. In July, an increase in the accumulation of sugars compared to the control was noted in the Conference variety (25.6 mg glucose equivalent/g fresh weight), in August this figure sharply increased in the Flamenco and Williams varieties to 24.3 and 25.7 mg equivalent. glucose/g wet weight, respectively. A significant increase in flavonoid content in response to sorbitol stress was detected in August for the Flamenco and Conference varieties, in which the average values changed from 2.1 and 2.5 to 3.6 and 4.2 mg/g fresh weight, respectively. Treatment of leaf disks with PEG did not initiate an increase in the synthesis of primary and secondary metabolites. A more effective way to create osmotic stress in the tissues of pear leaves was treatment with a sorbitol solution.

Keywords: pear varieties, soluble sugars, flavonoids, polyethylene glycol, sorbitol, osmotic stress

For citation: Sugares and flavonoids accumulation dynamics in pear leaves under simulated osmotic stress / A.E. Mishko [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2024;(3): 29–37 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-3-29-37.

Acknowledgments: research has been supported by the Russian Science Foundation and Kuban Science Foundation № 22-26-20072.

Введение. В полевых условиях растения постоянно подвергаются стрессовому воздействию целого ряда факторов окружающей среды. Вследствие негативного влияния таких факторов различной степени интенсивности растения могут претерпевать разного уровня изменения, которые даже могут привести их к гибели. На территории Краснодарского края современные исследователи все чаще в своих работах отмечают изменения погодно-климатических условий в сторону большей континентальности климата за счет увеличения средних положительных температур и роста максимальных температур воздуха на фоне снижения относительной влажности воздуха в течение вегетационного периода [1–3]. В этой связи особую актуальность приобретают исследования по изучению состояния растений под воздействием определенного абиотического стрессового фактора. Причем оценка состояния растительного организма может включать широкий спектр морфологических, физиологических, биохимических признаков. Особую роль в описании физиолого-биохимических процессов, изменяющихся на фоне ухудшения общего состояния растения, занимает углеводный обмен. Углево-

ды являются первичными продуктами фотосинтеза и, следовательно, главными соединениями, запасующими энергию, и основными веществами, из которых синтезируется большинство других органических соединений [4]. Среди простых сахаров наиболее распространены глюкоза и фруктоза. Сахароза считается важнейшим олигосахаридом высших растений. Сахара выполняют энергетическую, транспортную, сигнальную, запасующую и другие жизненно важные функции для растительных клеток [4, 5]. Фенольные соединения относятся к вторичным метаболитам, но также, как и углеводы, участвуют в разнообразных клеточных процессах [6]. Среди них группа водорастворимых флавоноидов характеризуется антиоксидантными свойствами, проявляющимися в ингибировании перекисного окисления липидов [7]. Благодаря полифенольной структуре они способны удалять кислородные радикалы и тем самым тормозить каскадные окислительные реакции в клетках растений. Кроме того, исследователи выявили взаимосвязь между первичным и вторичным метаболизмом, а именно в увеличении синтеза фенольных соединений при эндогенном действии пролина (аминокислоты), способного усилить

вать активность окислительного пентозофосфатного пути, обеспечивая накопление предшественников для фенольного биосинтеза через путь шикимовой кислоты [8].

Листья являются главным фотосинтезирующим органом, поэтому при исследовании влияния стрессовых факторов на физиолого-биохимические процессы растений особое внимание уделяется динамике содержания углеводов и флавоноидов в них. Изучение развития окислительного стресса у древесных многолетних растений осложнено большими размерами и длительным жизненным циклом. В современных работах при постановке эксперимента на таких объектах исследуют либо особенности роста и развития 1–2-летних саженцев, либо изменения параметров отдельных органов взрослых растений – плодов, листьев, почек и др. [9, 10].

Одной из основных семечковых культур на юге России является груша. Для нее характерна высокая требовательность к условиям произрастания. Кроме того, сортовой состав груши недостаточно усовершенствован: доминирующие позиции занимают европейские сорта, адаптированные к более мягким погодным факторам среды европейских стран [11, 12]. На территории Краснодарского края в летний период отрицательное воздействие на многие плодовые культуры, в т. ч. и грушу, оказывает засуха [13]. Одним из известных механизмов, которые растения используют, чтобы избежать дефицит воды в условиях засухи, является осмотическая регуляция, которая имеет решающее значение для поддержания тургора клеток и метаболической активности. Растения синтезируют осмотические вещества, такие как пролин или растворимые сахара, для установления осмотического баланса на клеточном уровне [14]. Имитацию засухи в экспериментальных условиях проводят путем воздействия на растения веществами, изменяющими осмотический потенциал в растительных клетках, например растворами сорбитола или полиэтиленгликоля [10].

Цель исследования – проведение сравнительной оценки трех сортов груши по содержанию растворимых сахаров и флавоноидов при моделированном осмотическом стрессовом воздействии.

Объекты и методы. Объектами исследования были выбраны три сорта груши *Pyrus communis* L.: два сорта Вильямс и Конференция европейского происхождения и один отечественный сорт Фламенко селекции ФГБНУ «Северо-

Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (СКФНЦСВВ). Данные сорта представлены в генетической коллекции Центра коллективного пользования «Генетическая коллекция садовых культур ФГБНУ СКФНЦСВВ».

Годичные побеги груши по 10–20 шт. с каждого растения были отобраны в летний период 2022 и 2023 гг. на территории опытного садового участка ОПХ «Центральное» г. Краснодар (45.15893°N; 38.93253°E). В работу были включены 3–5 деревьев каждого сорта. Привезенный растительный материал в дальнейшем использовали в лабораторных условиях. Имитацию засухи проводили двумя способами. В первом случае листья нарезали на листовые диски диаметром 1 см, затем погружали их в 20 % раствор полиэтиленгликоля (ПЭГ-6000) на 2 ч при комнатной температуре. В качестве контроля использовали раствор буфера, не содержащий полиэтиленгликоль [15]. Второй способ заключался в помещении побегов груши в раствор 15 % сорбитола на сутки при комнатной температуре, где контролем была вода. Эксперимент проводили с некоторыми модификациями по аналогии с модельным опытом при использовании раствора сахарозы [16]. После окончания экспериментальных воздействий растительный материал измельчали до состояния пудры в жидком азоте для дальнейших исследований.

Содержание растворимых сахаров определяли согласно антроновому методу с пересчетом на концентрацию глюкозы [17]. Оптическую плотность измеряли при длине волны 620 нм. Количественное определение флавоноидов проводили по реакции спиртового экстракта с хлоридом алюминия и ацетатом натрия при длине волны 415 нм [18]. Калибровочную кривую строили по растворам кверцетина. Биохимические анализы проводили в трех аналитических проворностях.

На графиках приведены средние значения и их ошибки. Для сравнения полученных данных использовали тест Дункана при уровне значимости менее 0,05. Расчет осуществляли с помощью программного обеспечения STATISTICA 12.

Результаты и их обсуждение. Согласно полученным результатам, двухчасовое воздействие на листовые диски раствором ПЭГ не вызвало изменения в содержании растворимых сахаров в листьях трех сортов груши в течение всего исследованного периода, за исключением показателей сорта Вильямс в июле и августе 2022 г.

(рис. 1, А) и сорта Конференция в августе 2023 г. (рис. 1, В). У данных сортов было отмечено снижение параметра на 40–70 % после стресса – от 31,7 и 41,4 до 9,3 и 13,7 мг экв. глюкозы/г сырого

веса в июле и августе 2022 г. соответственно у сорта Вильямс и от 13,1 до 7,9 мг экв. глюкозы/г сырого веса в августе 2023 г. у сорта Конференция.

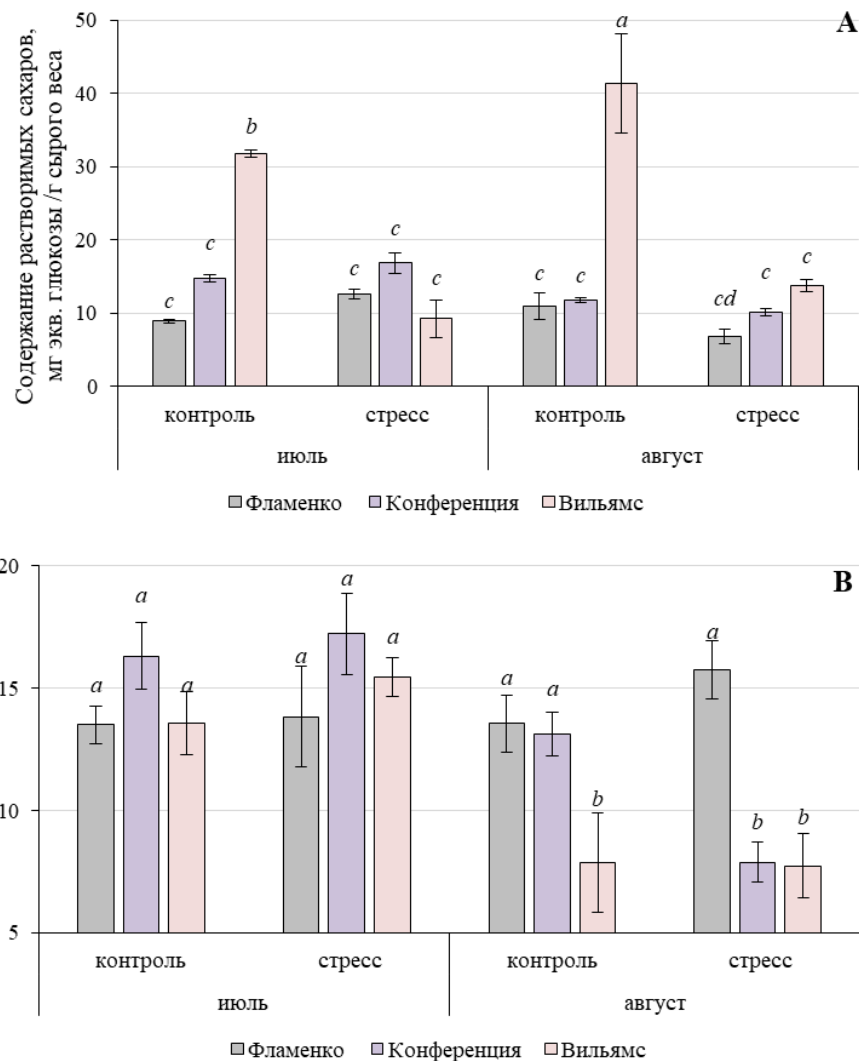


Рис. 1. Содержание растворимых сахаров в листьях груши при осмотическом стрессе, вызванном полиэтиленгликолем, в летний период 2022 (А) и 2023 гг. (В) (здесь и далее: достоверные различия значений при уровне значимости менее 0,05 отмечены разными строчными буквами)

При сравнении данных по содержанию флавоноидов в листьях груши следует отметить, что раствор ПЭГ спровоцировал рост показателей в 2022 г. на 22,5 % в июле у сорта Конференция и на 34,1 % в августе у сорта Фламенко (рис. 2, А), а также у сорта Фламенко в июле 2022 г. было отмечено снижение данного параметра на 31,7 %. Согласно результатам 2023 г., ПЭГ значительно не влиял на изменение показателей этого признака в июле, и средние значения всех сортов варьировали в диапазоне от 1,5 до 2,2 мг/г сырого веса (рис. 2, В). В августе были

выявлены только сортовые различия, где наибольшее количество флавоноидов имел сорт Конференция (~1,8 мг/г сырого веса), а наименьшее – сорт Вильямс (~1,4 мг/г сырого веса).

Суммируя полученные данные по содержанию растворимых сахаров и флавоноидов в листьях груши, можно заключить, что использование раствора ПЭГ в качестве вещества, способного инициировать осмотический стресс, не приводило к резкому изменению исследованных параметров. Те случаи, которые все же имели достоверные различия, были единичными.

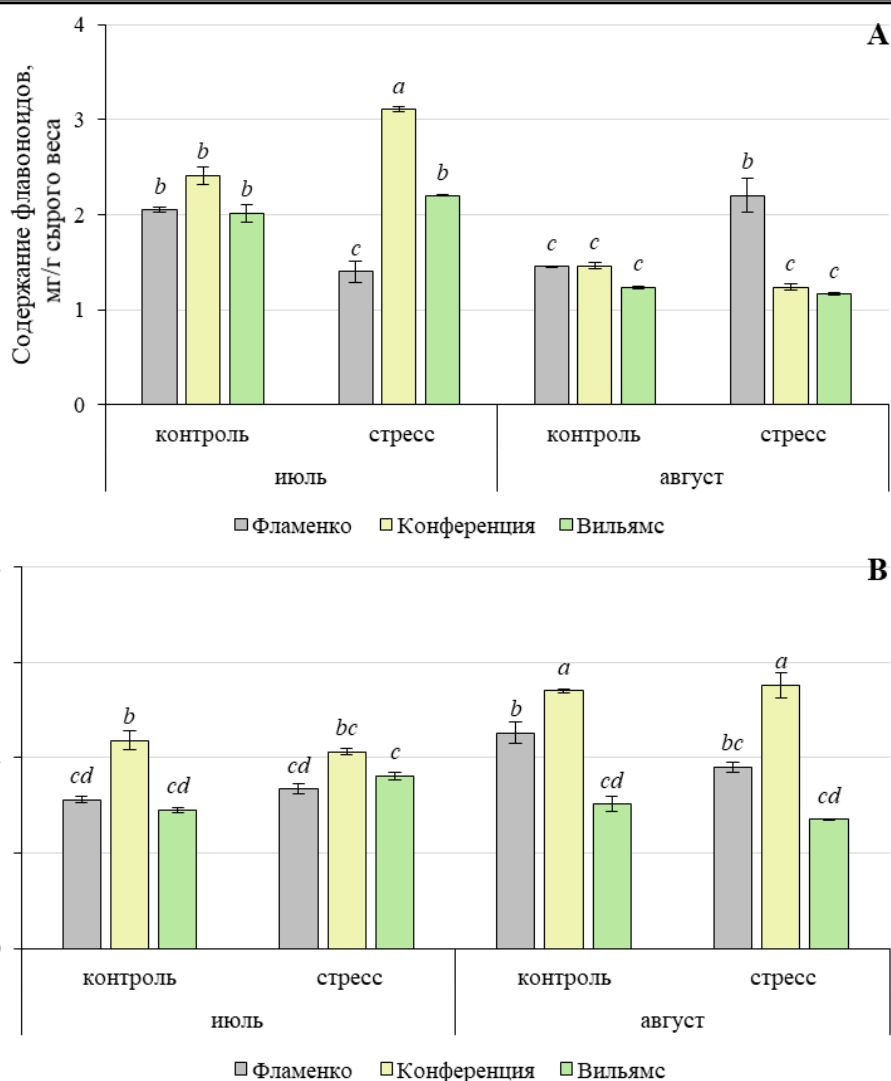


Рис. 2. Содержание флавоноидов в листьях груши при осмотическом стрессе, вызванном полиэтиленгликолем, в летний период 2022 (А) и 2023 гг. (В)

Негативное воздействие раствором сорбитола спровоцировало у сорта Конференция в июле 2023 г. рост концентрации сахаров в 1,7 раза до значения 25,6 мг экв. глюкозы/г сырого веса (рис. 3, А). В августе почти двукратное увеличение данного показателя было выявлено у сорта Flaменко: от 12,9 до 24,3 мг экв. глюкозы/г сырого веса. В июле по содержанию флавоноидов в листьях груши после стресса не было обнаружено значимых изменений по сравнению с контролем, но в августе было отмечено увеличение значений на 40 % у сортов Flaменко и Конференция – до 3,6 и 4,2 мг/г сырого веса соответственно. Эти показатели являлись максимальными для груши после стресса по окончании проведения двух экспериментов.

Таким образом, при сопоставлении полученных результатов можно предположить, что воздействие сорбитола вызывало более интенсивный синтез первичных и вторичных метаболитов по сравнению с раствором ПЭГ. Было выявлено, что в среднем по всем трем сортам груши содержание растворимых сахаров в листьях после воздействия сорбитола увеличивалось на 17–24 % относительно контроля, тогда как ПЭГ стимулировал синтез исследованных углеводов только в июле на 7 %. По содержанию флавоноидов средние показатели достоверно увеличились на 40 % в августе при обработке раствором сорбитола. В то же время ПЭГ в 2022 г. стимулировал рост флавоноидов однократно у двух сортов (Конференция и Flaменко) на 20–30 %.

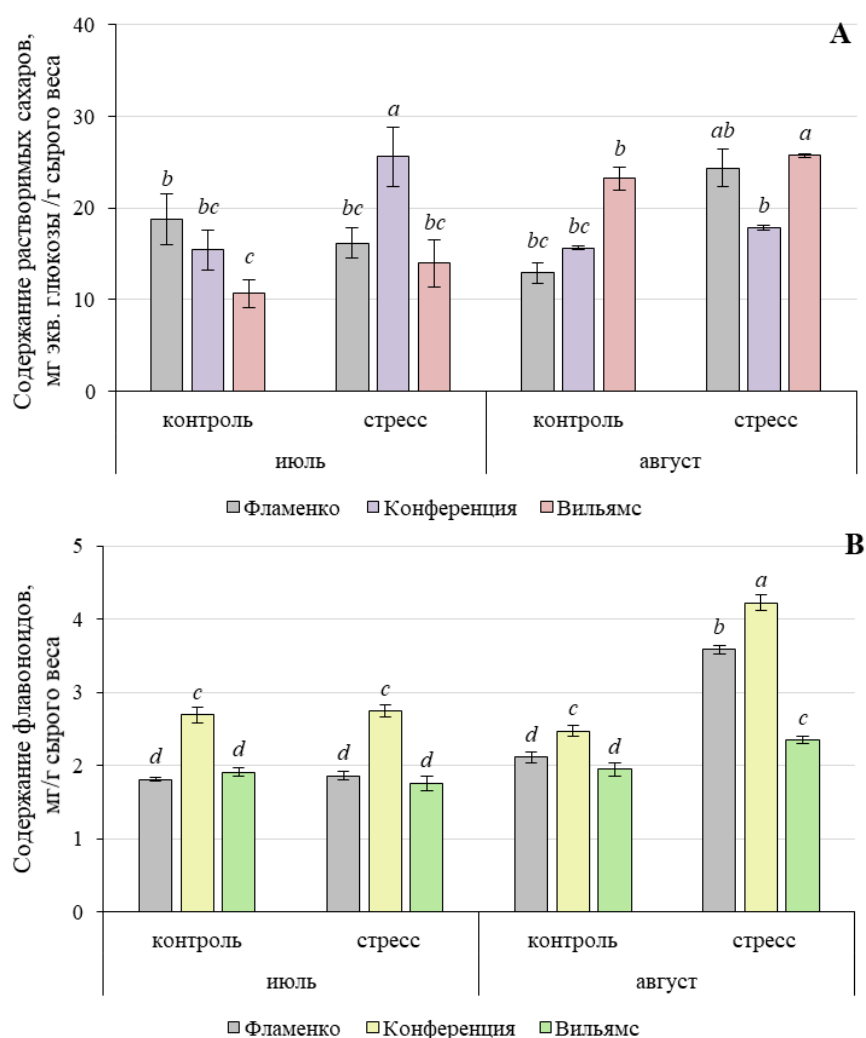


Рис. 3. Содержание растворимых сахаров (А) и флавоноидов (В) в листьях груши при осмотическом стрессе, вызванном сорбитолом

Наши данные согласуются с работами других исследователей, в которых эффективность раствора сорбитола была выше, чем раствора, содержащего ПЭГ [19, 20]. При использовании раствора сорбитола было отмечено повышение активности антиоксидантных ферментов относительно показателей, полученных после воздействия раствором ПЭГ. Следует также учитывать, что важной особенностью ПЭГ является постоянный уровень концентрации в растворе из-за невозможности проникновения его молекул в растительные клетки [21, 22]. Это позволяет лучше имитировать засуху в моделируемых условиях. В другом исследовании, проводимом на растениях тыквы в культуре *in vitro*, было установлено, что при стрессовом влиянии маннитола выявлено значительное увеличение содержания фенольных соединений и флавоноидов в отличие от экспериментов с ПЭГ [23]. В связи с этим можно заключить, что выбор наиболее эффек-

тивного вещества, инициирующего осмотический стресс в растительных тканях, зависит от ряда факторов и не может быть универсальным для всех объектов исследования. На примере многолетней плодовой культуры груши мы показали целесообразность использования раствора сорбитола для оценки ответной реакции растения на осмотический стресс.

Заключение. Согласно проведенным исследованиям, три сорта груши – Вильямс, Конференция и Фламенко были подвержены осмотическому стрессу после погружения побегов в 15 % раствор сорбитола. В результате разного адаптационного потенциала данных сортов груши были выявлены отличные изменения в содержании растворимых сахаров и флавоноидов. В июле больший синтез сахаров по сравнению с контролем был отмечен у сорта Конференция, в августе этот показатель резко увеличился у сортов Фламенко и Вильямс. Значи-

тельный рост содержания флавоноидов в ответ на стрессовое воздействие сорбитола был установлен в августе для сортов Фламенко и Конференция. Обработка листовых дисков 20 % раствором ПЭГ инициировала усиление синтеза вторичных метаболитов в листьях груши только однократно и вовсе не приводила к росту концентраций первичных метаболитов. На основании полученных результатов сделано предположение в большей эффективности сорбитола, чем ПЭГ, в качестве соединения, приводящего к возникновению осмотического стресса.

Выделение наиболее устойчивых сортов груши при воздействии осмотического стресса будет проведено после проведения дополнительных исследований по оценке развития вторичного окислительного стресса в растительных клетках.

Список источников

1. Адаптация культуры абрикоса к условиям выращивания на юге России / И.А. Драгаевцева [и др.] // Садоводство и виноградарство. 2014. Т. 3. С. 29–33.
2. Результаты селекции косточковых культур в условиях Юга России / Р.Ш. Заремук [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. Т. 3. С. 10–13.
3. Влияние изменений климата на фенологию винограда / В.С. Петров [и др.] // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2019. Т. 57 (3). С. 29–50. DOI: 10.30679/2219-5335-2019-3-57-29-50.
4. Saddhe A.A., Manuka R., Penna S. Plant Sugars: homeostasis and transport under abiotic stress in plants // *Physiol. Plant.* 2021. V. 171. P. 739–755. DOI: 10.1111/ppl.13283.
5. Pallardy S.G. *Physiology of woody plants*. 3rd ed. USA: Elsevier Inc., 2008. 454 p.
6. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress / A. Sharma [et al.] // *Molecules*. 2019. V. 24 (13). P. 2452. DOI: 10.3390/molecules24132452.
7. Ainsworth E.A., Gillespie K.M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent // *Nature Protocols*. 2007. V. 2. P. 875–877. DOI: 10.1038/nprot.2007.102.
8. Relationship of secondary metabolism to growth in oregano (*Origanum vulgare* L.) shoot cultures under nutritional stress / V. Lattanzio [et al.] // *Environ. Exp. Bot.* 2009. V. 65. P. 54–62. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2008.09.002.
9. The contribution of abscisic acid to sorbitol accumulation in drought-stressed *Malus hupehensis* / Y. Meng [et al.] // *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2008. V. 6 (2). P. 319–326.
10. Methodology of drought stress research: experimental setup and physiological characterization / N. Osmolovskaya [et al.] // *International Journal of molecular Sciences*. 2018. V. 19. P. 4089. DOI: 10.3390/ijms19124089.
11. Можар Н.В. Потенциал новых сортов груши в условиях юга России // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2014. Т. 27 (03). С. 1–10.
12. Можар Н.В. Реакция сортов груши на изменения условий среды в весенний период // *Научные труды СКФНЦСВВ*. 2021. Т. 31. С. 71–74. DOI: 10.30679/2587-9847-2021-31-71-74.
13. Effects of drought on the physiological parameters of fruit crops leaves / A. Mishko [et al.] // *BIO Web of Conferences Biologization*. 2021. V. 34. P. 01009. DOI: 10.1051/bioconf/20213401009.
14. Complex analysis of antioxidant activity, abscisic acid level, and accumulation of osmotica in apple and cherry *in vitro* cultures under osmotic stress / P. Jiroutova [et al.] // *International Journal of molecular Sciences*. 2021. V. 22 (15). P. 7922. DOI: 10.3390/ijms22157922.
15. The suppression of osmoinduced proline response of *Brassica napus* L. var *oleifera* leaf discs by polyunsaturated fatty acids and methyljasmonate / V. Huguet-Robert [et al.] // *Plant Science*. 2003. V. 164 (1). P. 119–127. DOI: 10.1016/S0168-9452(02)00343-6.
16. Гольшикина Л.В., Красова Н.Г., Галашева А.М. Влияние гипертермии на активность ферментной системы пероксидазы в тканях однолетних побегов яблони // *Современное садоводство*. 2014. Т. 4. С. 50–59.
17. Rapid and sensitive anthrone sulfuric acid assay in microplate format to quantify carbohydrate in biopharmaceutical products: method development and validation / A. Leyva [et al.] // *Biologicals*. 2008. V. 36. P. 134–141.
18. Hikmawanti N., Fatmawati S., Asri A.W. The effect of ethanol concentrations as the extraction solvent on antioxidant activity of katuk

- (*Sauropus androgynus* (L.) Merr.) leaves extracts // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 755. P. 012060. DOI: 10.1088/1755-1315/755/1/012060.
19. Hsu S.Y., Kao C.H. Differential effect of sorbitol and polyethylene glycol on antioxidant enzymes in rice leaves // *Plant Growth Regulation*. 2003. V. 39. P. 83–90.
 20. Sajid Z.A., Aftab F. Improvement of polyethylene glycol, sorbitol, mannitol, and sucrose-induced osmotic stress tolerance through modulation of the polyamines, proteins, and superoxide dismutase activity in potato // *International Journal of Agronomy*. 2022. V. 1145 (10). P. 69–74. DOI: 10.1155/2022/5158768.
 21. Толчичева И.Н. Применение полиэтиленгликоля в биохимии // *Успехи химии*. 1980. Т. 49 (3). С. 260–271. DOI: 10.1070/RC1980v049n03ABEH002458.
 22. Dsouza A.A., Shegokar R. Polyethylene glycol (PEG): a versatile polymer for pharmaceutical applications // *Expert Opin. Drug Deliv.*, 2016, V. 13, P. 1257–1275. DOI: 10.1080/17425247.2016.1182485.
 23. Morphological and physiological responses of *in vitro* – grown *Cucurbita sp.* landraces seedlings under osmotic stress by mannitol and PEG / R.P. Tajaragh [et al.] // *Horticulturae*. 2022. V. 8. P. 1117. DOI: 10.3390/horticulturae8121117.
 5. Pallardy S.G. *Physiology of woody plants*. 3rd ed. USA: Elsevier Inc., 2008. 454 p.
 6. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress / A. Sharma [et al.] // *Molecules*. 2019. V. 24 (13). P. 2452. DOI: 10.3390/molecules24132452.
 7. Ainsworth E.A., Gillespie K.M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent // *Nature Protocols*. 2007. V. 2. P. 875–877. DOI: 10.1038/nprot.2007.102.
 8. Relationship of secondary metabolism to growth in oregano (*Origanum vulgare* L.) shoot cultures under nutritional stress / V. Lattanzio [et al.] // *Environ. Exp. Bot.* 2009. V. 65. P. 54–62. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2008.09.002.
 9. The contribution of abscisic acid to sorbitol accumulation in drought-stressed *Malus hupehensis* / Y. Meng [et al.] // *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2008. V. 6 (2). P. 319–326.
 10. Methodology of drought stress research: experimental setup and physiological characterization / N. Osmolovskaya [et al.] // *International Journal of molecular Sciences*. 2018. V. 19. P. 4089. DOI: 10.3390/ijms19124089.
 11. Mozhar N.V. Potencial novyh sortov grushi v usloviyah yuga Rossii // *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii*. 2014. Т. 27 (03). С. 1–10.
 12. Mozhar N.V. Reakciya sortov grushi na izmeneniya uslovij sredy v vesennij period // *Nauchnye trudy SKFNCSVV*. 2021. Т. 31. С. 71–74. DOI: 10.30679/2587-9847-2021-31-71-74.

References

1. Adaptaciya kul'tury abrikosa k usloviyam vyrashchivaniya na yuge Rossii / I.A. Dragavceva [i dr.] // *Sadovodstvo i vinogradarstvo*. 2014. Т. 3. С. 29–33.
2. Rezul'taty selekcii kostochkovyh kul'tur v usloviyah Yuga Rossii / R.Sh. Zaremuk [i dr.] // *Rossijskaya sel'skohozyajstvennaya nauka*. 2017. Т. 3. С. 10–13.
3. Vliyanie izmenenij klimata na fenologiyu vinograda / V.S. Petrov [i dr.] // *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii*. 2019. Т. 57 (3). С. 29–50. DOI: 10.30679/2219-5335-2019-3-57-29-50.
4. Saddhe A.A., Manuka R., Penna S. Plant Sugars: homeostasis and transport under abiotic stress in plants // *Physiol. Plant*. 2021. V. 171. P. 739–755. DOI: 10.1111/ppl.13283.
13. Effects of drought on the physiological parameters of fruit crops leaves / A. Mishko [et al.] // *BIO Web of Conferences Biologization*. 2021. V. 34. P. 01009. DOI: 10.1051/bioconf/20213401009.
14. Complex analysis of antioxidant activity, abscisic acid level, and accumulation of osmotica in apple and cherry *in vitro* cultures under osmotic stress / P. Jiroutova [et al.] // *International Journal of molecular Sciences*. 2021. V. 22 (15). P. 7922. DOI: 10.3390/ijms22157922.
15. The suppression of osmoinduced proline response of *Brassica napus* L. var *oleifera* leaf discs by polyunsaturated fatty acids and methyljasmonate / V. Huguet-Robert [et al.] // *Plant Science*. 2003. V. 164 (1). P. 119–127. DOI: 10.1016/S0168-9452(02)00343-6.

16. Golyshkina L.V., Krasova N.G., Galasheva A.M. Vliyanie gipertermii na aktivnost' fermentnoj sistemy peroksidazy v tkanyah odnoletnih pobegov yabloni // *Sovremennoe sadovodstvo*. 2014. T. 4. S. 50–59.
17. Rapid and sensitive anthrone sulfuric acid assay in microplate format to quantify carbohydrate in biopharmaceutical products: method development and validation / A. Leyva [et al.] // *Biologicals*. 2008. V. 36. P. 134–141.
18. Hikmawanti N., Fatmawati S., Asri A.W. The effect of ethanol concentrations as the extraction solvent on antioxidant activity of katuk (*Sauropus androgynus* (L.) Merr.) leaves extracts // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021. V. 755. P. 012060. DOI: 10.1088/1755-1315/755/1/012060.
19. Hsu S.Y., Kao C.H. Differential effect of sorbitol and polyethylene glycol on antioxidant enzymes in rice leaves // *Plant Growth Regulation*. 2003. V. 39. P. 83–90.
20. Sajid Z.A., Aftab F. Improvement of polyethylene glycol, sorbitol, mannitol, and sucrose-induced osmotic stress tolerance through modulation of the polyamines, proteins, and superoxide dismutase activity in potato // *International Journal of Agronomy*. 2022. V. 1145 (10). P. 69–74. DOI: 10.1155/2022/5158768.
21. Topchieva I.N. Primenenie poli`etilenglikolya v biohimii // *Uspehi himii*. 1980. T. 49 (3). S. 260–271. DOI: 10.1070/RC1980v049n03ABEH002458.
22. Dsouza A.A., Shegokar R. Polyethylene glycol (PEG): a versatile polymer for pharmaceutical applications // *Expert Opin. Drug Deliv.*, 2016, V. 13, P. 1257–1275. DOI: 10.1080/17425247.2016.1182485.
23. Morphological and physiological responses of *in vitro* – grown *Cucurbita sp.* landraces seedlings under osmotic stress by mannitol and PEG / R.P. Tajaragh [et al.] // *Horticulturae*. 2022. V. 8. P. 1117. DOI: 10.3390/horticulturae8121117.

Статья принята к публикации 27.01.2024 / The article accepted for publication 27.01.2024.

Информация об авторах:

Алиса Евгеньевна Мишко¹, научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, кандидат биологических наук

Нина Васильевна Можар², старший научный сотрудник лаборатории сортоизучения и селекции садовых культур, кандидат сельскохозяйственных наук

Вадим Валерьевич Вялков³, младший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, аспирант

Анна Васильевна Ключкина⁴, младший научный сотрудник лаборатории управления воспроизводством в плодовых агроценозах и экосистемах, аспирант

Information about the authors:

Alisa Evgenievna Mishko¹, Researcher, Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, Candidate of Biological Sciences

Nina Vasilievna Mozhar², Senior Researcher at the Laboratory for the Study and Selection of Horticultural Crops, Candidate of Agricultural Sciences

Vadim Valerievich Vyalkov³, Junior Researcher, Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, Postgraduate Student

Anna Vasilievna Klyukina⁴, Junior Researcher, Laboratory of Reproduction Management in Fruit Agroecosystems and Ecosystems, Postgraduate Student