

УДК 581.19:634.13

DOI 10.30679/2219-5335-2024-2-86-115-125

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСОБЕННОСТИ СОРТОВ ГРУШИ
НА ТЕРРИТОРИИ
КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ***

Мишко Алиса Евгеньевна
канд. биол. наук
научный сотрудник
лаборатории физиологии
и биохимии растений
e-mail: mishko-alisa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8425-5216>

Клюкина Анна Васильевна
аспирант
младший научный сотрудник
лаборатории управления
воспроизводством в плодовых
агроценозах и экосистемах
e-mail: anna.klyukina.95@list.ru
<http://orcid.org/0000-0003-2238-8408>

Вялков Вадим Валерьевич
аспирант
младший научный сотрудник
лаборатории физиологии
и биохимии растений
e-mail: 935346@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1152-5091>

*Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
«Северо-Кавказский федеральный
научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия»,
Краснодар, Россия*

Поиск новых перспективных сортов груши, обладающих высоким адаптационным и продукционным потенциалом, является важной задачей современной селекции южных регионов РФ. В статье представлены результаты двухлетнего (2022-2023 гг.)

UDC 581.19:634.13

DOI 10.30679/2219-5335-2024-2-86-115-125

**PHYSIOLOGICAL FEATURES
OF PEAR VARIETIES
IN THE TERRITORY
OF THE KRASNODAR REGION ***

Mishko Alisa Evgenievna
Cand. Biol. Sci.
Research Associate
of Plant Physiology
and Biochemistry Laboratory
e-mail: mishko-alisa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8425-5216>

Klyukina Anna Vasilyevna
Postgraduate Student
Junior Research Associate
of Reproduction Management
in Fruit Agrocenoses
and Ecosystems Laboratory
e-mail: anna.klyukina.95@list.ru
<http://orcid.org/0000-0003-2238-8408>

Vyalkov Vadim Valerievich
Postgraduate Student
Junior Research Associate
of Plant Physiology
and Biochemistry Laboratory
e-mail: 935346@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1152-5091>

*Federal State Budget
Scientific Institution
«North Caucasian Federal
Scientific Center of Horticulture,
Viticulture, Wine-making»,
Krasnodar, Russia*

The search for new promising pear varieties with high adaptation and production potential is an important aim of modern breeding for the southern regions of the Russian Federation. In present study, the results of the physiological characteristics

* Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 22-26-20072 (<https://rscf.ru/project/22-26-20072/>).

* This present work was supported by Russian Science Foundation and Kuban Science Foundation № 22-26-20072 (<https://rscf.ru/project/22-26-20072/>).

изучения особенностей физиологического состояния четырех сортов груши в летне-осенний период, произрастающих на территории Прикубанской зоны садоводства Краснодарского края. В исследование были включены три сорта отечественной селекции Левен, Люберская, Фламенко и сорт Дево американского происхождения. Отбор листьев в полевых условиях происходил 3 раза в течение летних месяцев и в сентябре. В растительном материале определяли содержание растворимых сахаров и фенольных соединений, а также активность антиоксидантных ферментов – супероксиддисмутазы и пероксидазы. Установлено, что повышение уровня накопления изученных первичных и вторичных метаболитов и рост ферментативной активности на ~20-75 % происходили в более жаркий и засушливый период 2023 г. Содержание растворимых сахаров достоверно возросло у сортов Дево и Левен до ~12,0 мг/г сырого веса. Накопление фенольных соединений увеличилось у всех сортов более чем на 30 % с показателями, превышающими 27,0 мг/г сырого веса. Уровень активности супероксиддисмутазы в 2023 г. составил в среднем 13,4 у.е./мг белка, что незначительно выше значений 2022 г. Активность пероксидазы возросла в 2-4 раза с максимальными показателями более 8,0 у.е./мг белка в мин. у сортов Левен и Люберская. Полученные данные позволяют заключить, что более засушливые и жаркие условия 2023 г. не являлись критическими для нормального роста и развития исследованных сортов груши, а только инициировали активацию системы защиты в растительных клетках.

Ключевые слова: ГРУША, ПЕРВИЧНЫЕ И ВТОРИЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ, АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ

of four pear varieties during the summer-autumn season 2022-2023 are presented. Pear trees were planted in the territory of the Prikubanskaya fruit growing in the Krasnodar Region. Three varieties Leven, Lyuberskaya, Flamenco of Russian breeding and the American variety Devo were used. The pear leaves were selected three times during the summer months and in September. The content of soluble sugars and total phenols, as well as the activity of antioxidant enzymes – superoxide dismutase and peroxidase – were determined in the plant material. It was established that an increase of the level of the primary and secondary metabolites accumulation and an increase of enzymatic activity by ~20-75 % occurred in the hotter and drier 2023. The content of soluble sugars significantly increased to ~12.0 mg/g fresh weight in the leaves of the varieties Devo and Leven. The accumulation of phenolic compounds increased in all pear varieties by more than 30 % with values exceeding 27.0 mg/g fresh weight. The level of superoxide dismutase activity in 2023 averaged 13.4 unit/mg protein, which is slightly higher than the values of 2022. Peroxidase activity increased 2-4 times with maximum values of more than 8.0 unit/mg protein per min. in the varieties Leven and Lyuberskaya. In conclusion, the data obtained indicate that the drier and hotter conditions of 2023 were not critical for the normal growth and development of the studied pears varieties, but only initiated the activation of the defense antioxidant system in plant cells.

Key words: PEAR, PRIMARY AND SECONDARY METABOLITES, ANTIOXIDANT ENZYME ACTIVITY

Введение. Груша является ценной культурой семечковых, второй по значимости после яблони. Ее плоды отличаются высокими вкусовыми качествами и содержат сахара, кислоты, витамины, пектиновые и дубильные

вещества, микроэлементы, а также вещества, обладающие лечебными свойствами. Груша пригодна для потребления как в свежем, так и в переработанном виде (компоты, цукаты, варенье, сухофрукты, соки) [1].

В настоящее время культура груши получила широкое распространение. Ее выращивают более чем в 80 странах мира и известно более 10 тысяч сортов. По данным ФАО, в 2020 г. мировое производство (валовой сбор) груши составило 26 млн т на площади 1,4 млн га. Лидерами по производству груши в мире являются Китай (19 млн т), США (636 тыс. т) и Аргентина (634 тыс. т). Россия (79 тыс. т) занимает 24-е место мирового рейтинга производителей груши [2, 3].

В Российской Федерации груша уступает яблоне по площади насаждений, которые сосредоточены преимущественно в Северо-Кавказском регионе, Крыму, Ростовской, Воронежской, Белгородской областях, ее доля в общей площади семечковых культур в целом по России не превышает 5 % [4].

В условиях Краснодарского края груша более чувствительна к морозам, чем яблоня. В отдельные годы она не только снижает урожай, но и полностью вымерзает. Чаще всего плодовые почки и цветы повреждаются в начале весны [5]. Это связано с тем, что период покоя у плодовых почек заканчивается раньше, чем у ростовых, и они начинают раньше распускаться. Степень повреждения по сортам различна и обусловлена, в первую очередь, генетическими особенностями сорта, а также возрастом дерева, нагрузкой урожаем в предыдущий год, уровнем агротехники и рельефом участка [6].

Во многом снижение производства груши связано с недостаточным использованием новых адаптивных к абиотическим и биотическим стрессорам среды сортов. В настоящее время в государственном реестре РФ находится 125 сортов груши, сортимент юга России насчитывает 28 сортов. Из них значительная часть представлена старыми сортами иностранного происхождения, которые недостаточно приспособлены к континентальному климату южного региона.

Изучение адаптационного потенциала многолетней плодовой культуры – сложный вопрос, для решения которого требуется большой набор методологических инструментов. В современных работах все чаще оценка устойчивости растений к внешним условиям произрастания включает целый ряд физиолого-биохимических показателей, таких как изменения водного режима, эффективность работы фотосинтетического аппарата и активность ферментативной системы защиты [7-9].

Цель настоящей работы заключалась в оценке физиолого-биохимических параметров листьев сортов груши в условиях летне-осеннего периода.

Объекты и методы исследований. Исследования были проведены в 2022-2023 гг. в течение летне-осеннего периода в Прикубанской зоне садоводства Краснодарского края на базе генетической коллекции Центра коллективного пользования «Генетическая коллекция садовых культур ФГБНУ СКФНЦСВВ». Объектами исследований являлись отечественные сорта груши (*Pyrus communis* L.) селекции СКФНЦСВВ – Левен, Люберская и Фламенко, а также американский сорт Дево. Выбранные сорта характеризуются высокими вкусовыми и товарными качествами плодов. Для отечественных сортов отмечена полевая засухоустойчивость [10].

Погодные сведения исследованного периода были получены из Краснодарского краевого центра гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды за 2022-2023 гг. (Краснодар, Круглик).

Физиолого-биохимические параметры оценивали на отобранных в полевых условиях листьях (10-15 шт.) из средней части годовичных побегов летом – в июне и августе; и осенью – в сентябре. Были учтены по 3-5 деревьев каждого сорта в насаждениях груши 2007 г. посадки, схема посадки – 5×2 м.

В листьях были определены общее содержание фенольных соединений [11] и растворимых сахаров [12], а также была проведена экстракция

растворимых белков [13] для оценки ферментативной активности супероксиддисмутазы (SOD) и пероксидазы (POD) согласно общепринятым методам [14, 15].

Полученные результаты представлены в виде средних значений и их ошибок. Для выявления достоверных различий между исследованными параметрами сортов груши использовали тест Дункана при уровне значимости 0,05. На рисунках достоверные различия представлены в виде строчных латинских букв.

Обсуждение результатов. Температурные условия в начале исследованного летнего периода (июнь) значительно не отличались между 2022 г. и 2023 г., в то же время по уровню относительной влажности воздуха выделялся июнь 2023 г., показатель которого составил 71 % (рис. 1). В последующие летние месяцы и в сентябре наиболее жаркие и засушливые дни были характерны для 2023 г. Максимальные температуры воздуха в данный период варьировали от 36 до 38 °С, средние температуры – от 21 до 27 °С, относительная влажность воздуха не превышала 60 %.

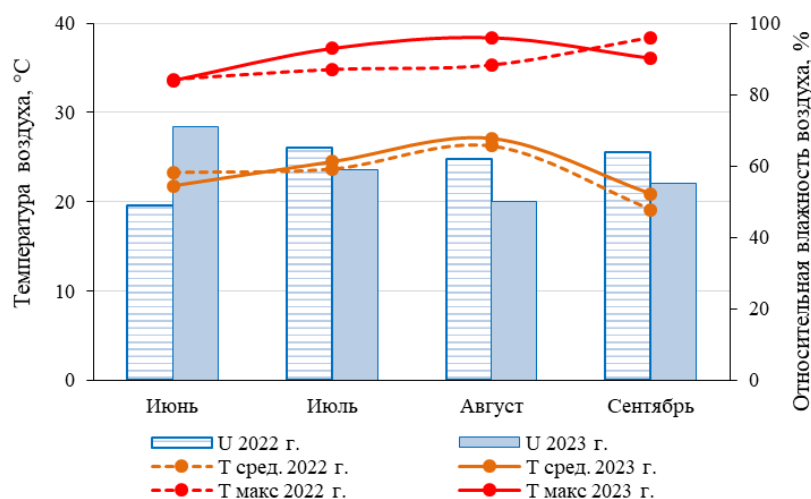


Рис. 1. Температура и относительная влажность воздуха с июня по сентябрь за 2022-2023 гг., АО ОПХ «Центральное»

При таких погодных условиях были выявлены определенные закономерности накопления первичных и вторичных метаболитов в листьях исследованных сортов груши. К группе первичных метаболитов относят са-

хара, жирные кислоты, аминокислоты и нуклеиновые кислоты, которые необходимы для роста и развития растений. Как известно, синтез сахаров напрямую связан с интенсивностью фотосинтетических процессов. Разные типы абиотических стрессовых факторов (засуха, засоление, экстремально низкие и высокие температуры) способны отрицательно воздействовать на функционирование фотосинтетической системы растений, и тем самым приводят к нарушению синтеза углеводов [16]. В нашем исследовании содержание растворимых сахаров достигало максимальных значений в 2023 г. и в среднем составило 12 мг/г сырого веса (рис. 2).

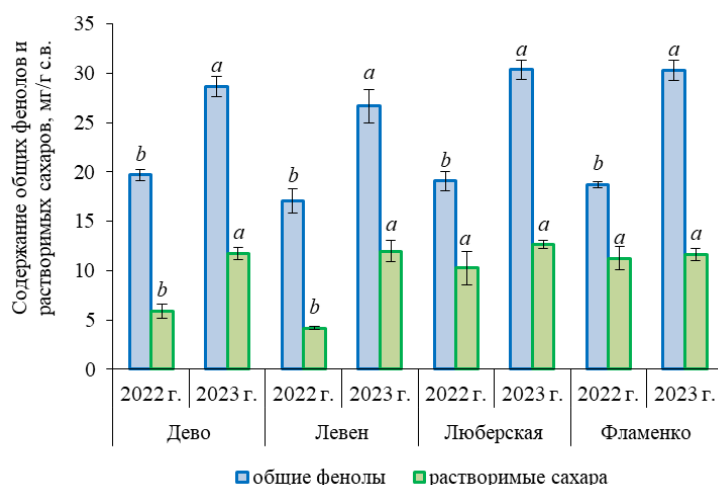


Рис. 2. Содержание общих фенолов и растворимых сахаров в листьях груши

Показатели данного параметра за 2022 г. имели значения 7,9 мг/г с.в. (сырого веса). Резкое увеличение в 2-3 раза сахаров за вегетационный период 2023 г. относительно показателей предыдущего года было выявлено у сортов Дево и Левен. Сорт Фламенко отличался отсутствием высоких колебаний значений содержания растворимых сахаров в листьях в течение всего исследованного периода, которые сохранялись на уровне 11 мг/г с.в. Для сорта Люберская был характерен рост значений параметра с 10 мг/г с.в. в 2022 г. до 12,6 мг/г с.в. в 2023 г.

Накопление вторичных метаболитов также является важным параметром, отражающим особенности физиологического состояния растений.

Несмотря на то, что эти вещества напрямую не вовлечены в основные процессы метаболизма, все же они выполняют важную роль в поддержании стабильного роста и развития растительного организма в определенных условиях внешней среды. Ко вторичным метаболитам относится большое разнообразие фенольных соединений, которые выполняют различные функции, включающие защиту от патогенов и ряда абиотических стрессоров (экстремальные температуры, УФ-излучение, загрязнение тяжелыми металлами), придание окраски генеративным структурам (цветам, плодам), организацию клеточных стенок и др. [17]. Кроме того, фенольные вещества обладают антиоксидантными свойствами, предотвращая окисление жизненно важных для растения органических соединений – липидов, углеводов, белков, нуклеиновых кислот. У исследованных сортов груши содержание общих фенольных соединений в 2022 г. составило в среднем 18,6 мг/г с.в., в 2023 г. – 29,0 мг/г с.в. (см. рис. 2). Для всех сортов было характерно увеличение содержания фенолов в 1,5-1,6 раз в 2023 г. Максимальные показатели имели сорта Люберская и Фламенко, составляющие 30,3 мг/г с.в. Наши результаты согласуются с данными исследователей, производивших оценку содержания фенольных соединений у китайских сортов груши разных видов, средние показатели которых варьировали в диапазоне 17-21 мг/г с.в. [18].

Важной составляющей в системе защиты растительных клеток от вторичного окислительного стресса, развивающегося при избытке активных форм кислорода, является повышение активности ферментативной системы [19]. Среди основных антиоксидантных ферментов выделяют пероксидазу и супероксиддисмутазу. Рост их активности происходит в ответ на воздействие различных негативных факторов – высоких и низких температур, засоления, засухи и др. [20]. В листьях изученных сортов груши в 2022 г. активность SOD составила 12,1 у.е./мг белка, а в 2023 г. она возросла до 13,4 у.е./мг белка (рис. 3). Наибольшие показатели были выявлены у сортов

Люберская и Левен, равные 13,8 и 14,0 у.е./мг белка соответственно. Активность POD в листьях груши в течение исследованного периода изменялась более динамично по сравнению со значениями SOD. Средние показатели за 2022 г. составили 2,4 у.е./мг белка в мин., за 2023 г. – 6,0 у.е./мг белка в мин. (рис. 3). Максимальный рост активности POD в 2023 г. был обнаружен у сортов Левен и Люберская, значения которых увеличились в 3-4 раза (> 8 у.е./мг белка в мин.). Следует отметить, что у сортов Дево и Фламенко достоверной разницы в показателях активности исследованных ферментов в течение двух вегетационных периодов найдено не было.

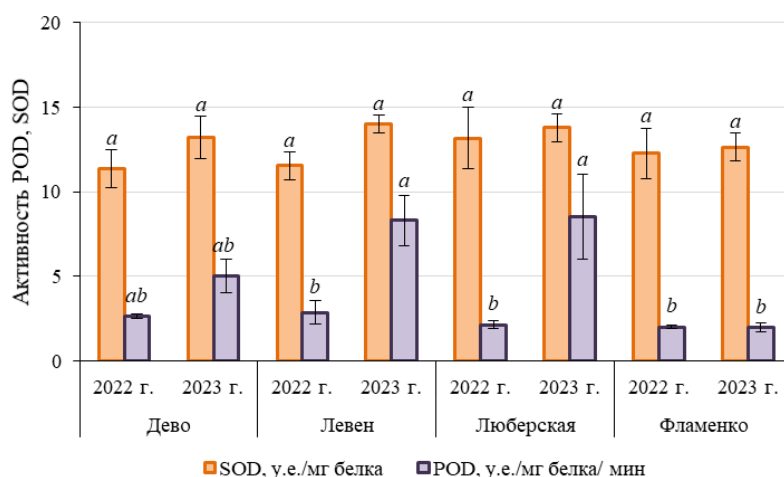


Рис. 3. Активность супероксиддисмутазы (SOD) и пероксидазы (POD) в листьях груши

Согласно полученным результатам, было установлено, что в условиях летне-осеннего периода 2023 г. происходило более интенсивное накопление фенольных соединений в листьях у всех исследованных сортов груши по сравнению с показателями 2022 г. Кроме того, у некоторых из них было отмечено повышение активности изученных ферментов и увеличение содержания растворимых сахаров в 2023 г. на ~20-75 %. На примере китайского сорта груши исследователи определили, что рост активности антиоксидантных ферментов происходит при кратковременных воздействиях засухи, длительное пребывание растений в условиях дефицита влаги повреждает защитные механизмы [21]. На основании этого можно предпо-

ложить, что более засушливые и жаркие условия 2023 г. не являлись критическими для нормального роста и развития груши, а только инициировали активацию системы защиты в растительных клетках, включая неферментативную и ферментативную ее составляющие.

Выводы. Таким образом, исследованные сорта груши Дево, Левен, Люберская и Фламенко с июня по сентябрь 2022-2023 гг., произрастающие в погодно-климатических условиях Прикубанской зоны садоводства Краснодарского края, характеризовались устойчивым физиологическим состоянием. Более жаркие и засушливые месяцы 2023 г. привели к активации систем защиты растений, что отразилось на росте содержания фенольных соединений у всех сортов и в повышении активности пероксидазы у сортов Левен и Люберская на ~65-75 %.

Литература

1. Сортоизучение и селекция груши. Учебное пособие для аспирантов сельскохозяйственного направления. Майкоп: изд-во МГТУ. 2016. 132 с.
2. Brewer L.R., Palmer J.W. Global pear breeding programs: goals, trends and progress for new cultivars and new rootstocks // Acta Hort. 2011. Vol. 909. P. 105-119. DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.909.10.
3. Deckers T., Schoofs H. Status of the pear production in Europe // Acta Hort. 2008. Vol. 800. P. 95-106. DOI: 10.17660/ActaHortic.2008.800.8.
4. Сотник А.И. Методология создания сорто-подвойных комбинаций груши: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.08 / Сотник Александр Иванович. Ялта, 2020. 397 с.
5. Ермоленко В.Г., Аполохов Ф.Ф., Можар Н.В. Перспективы выращивания груши в Центральном Предкавказье [Электронный ресурс] // Плодоводство и виноградарство юга России. 2020. №66(6). С. 284-294. Режим доступа: <http://journalkubansad.ru/pdf/20/06/20.pdf> DOI: 10.30679/2219-5335-2020-6-66-284-294 (дата обращения: 19.02.2024)
6. Можар Н.В., Клюкина А.В. Влияние температурных изменений весеннего периода на продуктивность сортов груши в условиях Краснодарского края // Научные труды СКФНЦСВВ. 2023. Т. 36. С. 100-104. DOI: 10.30679/2587-9847-2023-36-100-104.
7. Rajametov Sh. Physiological state of different pear cultivars during summer // Genetics and Plant Physiology. 2017. Vol. 7(1-2). P. 62-77. http://www.bio21.bas.bg/ippg/bg/wp-content/uploads/2017/09/GPP_7_1-2_2017_62-77.pdf
8. Dbara S., Boussetta W., Hafi M., Mars M. Performance assessment of three old pear cultivars (*Pyrus communis* L.) to cope drought caused by climate change // Journal of horticulture and postharvest research. 2021. Vol. 4(3). P. 351-366. DOI: 10.22077/jhpr.2021.4064.1192.
9. Physio-biochemical and molecular stress regulators and their crosstalk for low-temperature stress responses in fruit crops: A review / A.K. Goswami, et al. // Front. Plant Sci. 2022. Vol. 13. 1022167. DOI: 10.3389/fpls.2022.1022167.

10. Причко Т.Г., Можар Н.В., Германова М.Г. Оптимизация сортов груши селекции СКЗНИИСиВ // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 3. С. 39-41. EDN: YNTSPF
11. 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. Vol. 755. 012060. DOI: 10.1088/1755-1315/755/1/012060.
12. 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. Vol. 36. P. 134-141. DOI: 10.1016/j.biologicals.2007.09.001.
13. Effects of exogenous melatonin on methyl viologen-mediated oxidative stress in apple leaf / Z. Wei, et al. // International Journal of molecular Sciences. 2018. Vol. 19(1). 316. DOI: 10.3390/ijms19010316.
14. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений. Ленинград: Агропромиздат. 1987. 429 с.
15. Радюкина Н.Л., Иванов Ю.В., Шевякова Н.И. Методы оценки содержания активных форм кислорода, низкомолекулярных антиоксидантов и активностей основных антиоксидантных ферментов. В кн: Молекулярно-генетические и биохимические методы в современной биологии растений / под ред. Вл.В. Кузнецова, В.В. Кузнецова, Г.А. Романова. Москва: БИНОМ. 2012. С. 352-355.
16. Saddhe A.A., Manuka R., Penna S. Plant Sugars: homeostasis and transport under abiotic stress in plants // Physiol. Plant. 2021. Vol. 171. P. 739-755. DOI: 10.1111/ppl.13283.
17. Khan M., Palakolanu S.R., Ferrante A., Khan N. Plant Signaling Molecules: Role and Regulation Under Stressful Environments. 2019. P. 157-168 DOI: 10.1016/B978-0-12-816451-8.00009-5.
18. Evaluation of phenolic composition and content of pear varieties in leaves from China / X. Dong, et al. // Erwerbs-Obstbau. 2018. Vol. 60. P. 331-340. DOI: 10.1007/s10341-018-0381-y.
19. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: revisiting the crucial role of a universal defense regulator / M. Hasanuzzaman, et al. // Antioxidants. 2020. Vol. 9. 681. DOI: 10.3390/antiox9080681.
20. Recent Developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress / V.D. Rajput, et al. // Biology. 2021. Vol. 10(4). 267. DOI: 10.3390/biology10040267.
21. Transcriptome survey and expression analysis reveals the adaptive mechanism of 'Yulu Xiang' pear in response to long-term drought stress / S. Yang, et al. // PLoS ONE. 2021. Vol. 16(2). e0246070. DOI: 10.1371/journal.pone.0246070.

References

1. Varietal study and breeding of pears. Textbook for postgraduate students in agriculture. Maykop: MSTU publishing house, 2016. 132 p. ([in Russian](#))
2. Brewer L.R., Palmer J.W. Global pear breeding programs: goals, trends and progress for new cultivars and new rootstocks // Acta Hort. 2011. Vol. 909. P. 105-119. DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.909.10.
3. Deckers T., Schoofs H. Status of the pear production in Europe // Acta Hort. 2008. Vol. 800. P. 95-106. DOI: 10.17660/ActaHortic.2008.800.8.
4. Sotnik A.I. Methodology for creating pear variety-rootstock combinations: dis. ... Dr. Agricultural Sciences Sciences: 06.01.08 / Sotnik Alexander Ivanovich. Yalta, 2020. 397 p. ([in Russian](#))
5. Ermolenko V.G., Apolokhov F.F., Mozhar N.V. Prospects for pear growing in the Central Ciscaucasia // Fruit growing and viticulture in South Russia. 2020. № 66(6). P. 284-294. Available at: <http://journalkubansad.ru/pdf/20/06/20.pdf>. DOI: 110.30679/2219-5335-2020-6-66-284-294. (accessed date: 19.02.2024) ([in Russian](#))

6. Mozhar N.V., Klyukina A.V. The influence of temperature changes in the spring period on the productivity of pear varieties in the conditions of the Krasnodar region // Scientific works of NCSCHVW. 2023. Vol. 36. P. 100-104. DOI: 10.30679/2587-9847-2023-36-100-104. (in Russian)
7. Rajametov Sh. Physiological state of different pear cultivars during summer // Genetics and Plant Physiology. 2017. Vol.7(1-2). P. 62-77. http://www.bio21.bas.bg/ippg/bg/wp-content/uploads/2017/09/GPP_7_1-2_2017_62-77.pdf
8. Dbara S., Boussetta W., Hafi M., Mars M. Performance assessment of three old pear cultivars (*Pyrus communis* L.) to cope with drought caused by climate change // Journal of horticulture and postharvest research. 2021. Vol. 4(3). P. 351-366. DOI: 10.22077/jhpr.2021.4064.1192.
9. Physio-biochemical and molecular stress regulators and their crosstalk for low-temperature stress responses in fruit crops: A review / A.K. Goswami, et al. // Front. Plant Sci. 2022. Vol. 13. 1022167. DOI: 10.3389/fpls.2022.1022167.
10. Prichko T.G., Mozhar N.V., Germanova M.G. The pears varieties optimization of the NCRRIH&V // Vestnik of the Russian agricultural science. 2017. № 3. P. 39-41. EDN: YNTSPF (in Russian)
11. 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. Vol. 755. P. 012060. DOI: 10.1088/1755-1315/755/1/012060.
12. 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. Vol. 36. P. 134-141. DOI: 10.1016/j.biologicals.2007.09.001.
13. Effects of exogenous melatonin on methyl viologen-mediated oxidative stress in apple leaf / Z. Wei, et al. // International Journal of molecular Sciences. 2018. Vol. 19(1). 316. DOI: 10.3390/ijms19010316.
14. Ermakov A.I. Methods of biochemical research of plants. Leningrad: Agropromizdat. 1987. 429 p. (in Russian)
15. Radyukina N.L., Ivanov Yu.V., Shevyakova N.I. Methods for assessing the content of reactive oxygen species, low molecular weight antioxidants and the activities of the main antioxidant enzymes. In: V.I. Kuznetsova, V.V. Kuznetsova, G.A. Romanova (eds). Molecular-genetic and biochemical methods in modern plant biology. Moscow: BINOM. 2012. P. 352-355. (in Russian)
16. Saddhe A.A., Manuka R., Penna S. Plant Sugars: homeostasis and transport under abiotic stress in plants // Physiol. Plant. 2021. Vol. 171. P. 739-755. DOI: 10.1111/ppl.13283.
17. Khan M., Palakolanu S.R., Ferrante A., Khan N. Plant Signaling Molecules: Role and Regulation Under Stressful Environments. 2019. P. 157-168 DOI: 10.1016/B978-0-12-816451-8.00009-5.
18. Evaluation of phenolic composition and content of pear varieties in leaves from China / X. Dong, et al. // Erwerbs-Obstbau. 2018. Vol. 60. P. 331-340. DOI: 10.1007/s10341-018-0381-y.
19. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: revisiting the crucial role of a universal defense regulator / M. Hasanuzzaman, et al. // Antioxidants. 2020. Vol. 9. 681. DOI: 10.3390/antiox9080681.
20. Recent Developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress / V.D. Rajput, et al. // Biology. 2021. Vol. 10(4). 267. DOI: 10.3390/biology10040267.
21. Transcriptome survey and expression analysis reveals the adaptive mechanism of 'Yulu Xiang' pear in response to long-term drought stress / S. Yang, et al. // PLoS ONE. 2021. Vol. 16(2). e0246070. DOI: 10.1371/journal.pone.0246070.