

УДК 581.1

DOI 10.30679/2219-5335-2021-1-67-151-161

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
ФИЗИОЛОГО-
БИОХИМИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ
СОРТОВ ЯБЛОНИ
РАЗНОЙ ПЛОИДНОСТИ**

Мишко Алиса Евгеньевна¹
научный сотрудник
лаборатории физиологии
и биохимии растений
e-mail: mishko-alisa@mail.ru

Плотников Владимир Константинович²
д-р биол. наук, доцент
ведущий научный сотрудник
кафедры физиологии и кормления
сельскохозяйственных животных
e-mail: vkpbio21@mail.ru

Ненько Наталия Ивановна¹
д-р с.-х. наук
главный научный сотрудник
лаборатории физиологии
и биохимии растений
e-mail: nenko.nataliya@yandex.ru

Ульяновская Елена Владимировна¹
д-р с.-х. наук
заведующая лабораторией
сортоизучения
и селекции садовых культур
e-mail: ulyanovskaya_e@mail.ru

¹Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
«Северо-Кавказский федеральный
научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия»,
Краснодар, Россия

²Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кубанский государственный аграрный
университет имени И.Т. Трубилина»,
Краснодар, Россия

UDC 581.1

DOI 10.30679/2219-5335-2021-1-67-151-161

**COMPARATIVE ANALYSIS
OF PHYSIOLOGICAL
AND BIOCHEMICAL
CHARACTERISTICS
OF DIFFERENT PLOIDY
APPLE CULTIVARS**

Mishko Alisa Evgenievna¹
Research Associate
of Plants Physiology
and Biochemistry Laboratory
e-mail: mishko-alisa@mail.ru

Plotnikov Vladimir Konstantinovich²
Dr. Sci. Biol.
Leading Research Associate
of Physiology and Feeding
Farm Animals Department
e-mail: vkpbio21@mail.ru

Nenko Natalia Ivanovna¹
Dr. Sci. Agr.
Chief Research Associate
of Plant Physiology
and Biochemistry Laboratory
e-mail: nenko.nataliya@yandex.ru

Ulyanovskaya Elena Vladimirovna¹
Dr. Sci. Agr.
Head of Variety study
and Breeding of Garden crops
Laboratory
e-mail: ulyanovskaya_e@mail.ru

¹Federal State Budget
Scientific Institution
«North Caucasian Federal
Scientific Center of Horticulture,
Viticulture, Wine-making»,
Krasnodar, Russia

²Federal State Budgetary
Educational Institution
of Higher Education
«Kuban State Agrarian University
named after I.T. Trubilin»,
Krasnodar, Russia

В данной работе приведены результаты сравнения двух сортов яблони отечественной селекции – Прикубанское и Союз по ряду физиолого-биохимических показателей, таких как степень лигнификации клеточных стенок, содержание белка, малонового диальдегида (МДА) и уровень активности пероксидаз в однолетних побегах и листьях, а также содержание нуклеиновых кислот в семенах. Исследованные сорта яблони имеют разную плоидность – тройной набор хромосом у сорта Союз ($2n=3x$) и двойной набор у сорта Прикубанское ($2n=2x$). Было установлено, что для триплоидного сорта Союз в отличие от диплоидного сорта Прикубанское характерны более высокие средние значения почти всех исследованных параметров и меньшая их вариабельность. При этом статистически значимые отличия были получены по содержанию белка и нуклеиновых кислот в однолетних побегах и семенах. Сорт яблони Союз, как триплоидный сорт, имел большие показатели по данным признакам. В то же время этот сорт проявил меньшую степень устойчивости к низким температурам зимнего периода по сравнению с диплоидным сортом Прикубанское, что было обусловлено низкими значениями активности пероксидазы – одного из ферментов антиоксидантной системы защиты растений при воздействии стрессовых факторов, и более высоким уровнем содержания малонового диальдегида в побегах – одного из конечных продуктов перекисного окисления клеточных мембран. Наши исследования показали, что сорт яблони Союз, несмотря на относительную стабильность физиологического состояния в летние месяцы, в зимний период исследований обладал слабой степенью устойчивости по сравнению с сортом Прикубанское.

Ключевые слова: ЯБЛОНЯ, ПЛОИДНОСТЬ, ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, УСТОЙЧИВОСТЬ

This work provides a comparison results of the physiological and biochemical characteristics of two apple cultivars different ploidy – Soyuz ($2n=3x$) and Prikubanskoe ($2n=2x$). We studied the content of protein, lignin, malondialdehyde (MDA) and the level of peroxidase activity in annual shoots and leaves, as well as the content of nucleic acids in mature seeds. We found that the triploid of Soyuz is characterized by higher average values for almost parameters studied and their lower variability unlike the diploid of Prikubanskoe. At the same time, statistically significant differences were obtained by the content of protein and nucleic acids in the shoots and the seeds, respectively. The Soyuz variety, as a triploid, had higher values of these characteristics. On the other hand, Soyuz apple variety had the lower degree of resistance to winter temperatures compared to Prikubanskoe. It was determined by the lower activity of peroxidase, one of the antioxidant enzymes protector of plants under stress conditions and by the higher content of MDA, which is a product of lipid peroxidation of cell membranes. Our studies showed that the Soyuz apple variety, despite the relative stability of physiological characteristics in the summer months of study have, had the low level of stress tolerance compared to the Prikubanskoe variety in the winter period.

Key words: APPLE-TREE, PLOIDY, PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDEXES, RESISTANCE

Введение. В настоящее время отечественными селекционерами ведутся исследования в области создания полиплоидных сортов яблони, для которых характерен высокий уровень устойчивости к абиотическим (морозы, заморозки, засуха и т.п.) и биотическим (грибные заболевания) стрессовым факторам [1-3]. Как правило, у полиплоидных растений большие размеры вегетативных и генеративных органов, а также более высокий уровень экспрессии генов, больший размер клеток, качественные и количественные изменения физиологических и биохимических параметров [4-6].

Большинство сортов яблони имеют диплоидный набор хромосом ($2n=2x$), но все чаще исследователи описывают преимущества триплоидных ($2n=3x$) и тетраплоидных сортов ($2n=4x$), которые проявляют себя как наиболее устойчивые к засухе и к заражению патогенами по ряду физиолого-биохимических показателей. В работе П.С. Прудникова с соавторами была проведена оценка триплоидных и диплоидных сортов яблони, по результатам которой было установлено, что для триплоидных сортов характерна большая интенсивность обменных процессов в однолетних побегах [5].

Китайские исследователи в своей работе выявили более высокий уровень фотосинтетической активности в листьях тетраплоидных сортов яблони при сравнении с диплоидными [6]. Значительно большая устойчивость к высоким температурам, солевому стрессу, а также к заражению яблочной паршой (*Venturia inaequalis*) была отмечена у нескольких автотетраплоидных сортов при сопоставлении с их диплоидными формами [7-9].

Некоторые исследователи оценивали степень сохранения жизнеспособности однолетних побегов яблони разной ploидности после воздействия на них экстремально низкими температурами, после чего определяли изменение доли нуклеиновых кислот, белков, углеводов и липидов по сравнению с контрольными условиями [2, 10]. Кроме того, имеются ряд работ, посвященных выявлению адаптационных способностей полиплоид-

ных сортов яблони отечественной селекции к засухе при анализе анатомо-морфологических и физиолого-биохимических показателей [11, 12].

Таким образом, изучение адаптационного потенциала полиплоидных сортов является достаточно актуальным в области селекции, особый интерес представляет сравнительный анализ с устойчивыми к тем или иным абиотическим и биотическим факторам среды диплоидными сортами.

Целью настоящего исследования является выявление значимых различий между устойчивыми к засухе и низким зимним температурам сортами яблони разной плоидности по физиолого-биохимическим параметрам в летний и зимний периоды.

Объекты и методы исследований. Сравнительный анализ был проведен на двух сортах яблони отечественной селекции, отличающихся плоидностью – сорт Прикубанское (диплоидный) и сорт Союз (триплоидный). Растения изучаемых сортов произрастают на территории Краснодарского края в ОПХ «Центральное». Для исследований были взяты листья яблони в летний период 2019 г., однолетние побеги и семена в зимний период 2019 и 2018 гг. соответственно.

Исследованы следующие физиолого-биохимические параметры – степень лигнификации клеточных стенок, содержание малонового диальдегида (МДА), уровень активности пероксидазы, выбранные в качестве прямых или косвенных показателей оценки степени устойчивости растения к воздействию стрессоров (низкие зимние температуры, засуха). Также определяли содержание белка и нуклеиновых кислот, отражающее метаболические процессы в растении.

Энзимную активность оценивали на примере активности пероксидазы, которую определяли колориметрическим методом по Бояркину [13]. Содержание белка определялось согласно широко используемому методу

Бредфорда [14]. Для определения количества нуклеиновых кислот использовали метод Шмидта и Тангаузера в модификации Флека и Монро [15]. Степень повреждения клеточных мембран устанавливали по содержанию одного из основных конечных продуктов перекисного окисления липидов клеточных мембран – малонового диальдегида [16]. Лигнификацию клеточных стенок оценивали по доли лигнина в растительном образце методом Класона, основанном на поэтапном удалении белков и полисахаридов путем гидролиза концентрированными минеральными кислотами – соляной и серной [17, 18].

Все приведенные значения пересчитаны на массу сырого вещества. Полученные результаты представлены в виде средних значений и стандартного отклонения. Исследования проведены в 2–3-х кратной повторности. Статистическая обработка данных выполнена с помощью программного обеспечения Statistica 13.3 с применением ранговой корреляции Спирмена (R), непараметрического критерия Вальда-Вольфовица и U-теста Манна-Уитни для малых выборок [19].

Обсуждение результатов. Согласно полученным данным триплоидный сорт яблони Союз характеризуется более высокими значениями исследованных физиолого-биохимических параметров по сравнению с диплоидным сортом Прикубанское, исключение составили уровень активности пероксидазы в побеге и процентное содержание лигнина в побеге и листе (табл.). Согласно предложенной шкале С.А. Мамаева [20] для оценки значений коэффициентов вариации (Cv) повышенный уровень (40-63 %) был отмечен у сорта Союз по содержанию лигнина в листьях (58,5 %) и у сорта Прикубанское по активности пероксидазы в листьях (40,6 %).

Сравнительный анализ показал, что достоверно значимые (при $p < 0.05$, где p – уровень значимости) отличия были выявлены только по пя-

ти признакам: содержание белка и МДА в побеге, лигнина в листьях, активность пероксидазы в побеге и содержание ДНК в зрелых семенах.

Физиолого-биохимические показатели
сортов яблони Союз и Прикубанское

Параметры	Описательные статистики			
	m±Sd	Cv	m±Sd	Cv
	Союз (2n=3x)		Прикубанское (2n=2x)	
Белок, мк г ⁻¹ (в листе)	5.66±0.53	9.35	5.45±0.93	17.15
Белок, мк г ⁻¹ (в побеге)	6.21±0.29	4.72	5.28±0.19	3.69
МДА, ммоль г ⁻¹ (в листе)	0.12±0.01	12.35	0.10±0.04	34.80
МДА, ммоль г ⁻¹ (в побеге)	0.17±0.01	4.39	0.15±0.01	3.65
Активность пероксидазы, у.е. мг ⁻¹ белка (в листе)	3.91±0.66	16.79	3.76±1.53	40.64
Активность пероксидазы, у.е. мг ⁻¹ белка (в побеге)	3.26±0.34	10.48	3.64±0.10	2.61
Лигнин, % (в листе)	4.92±2.88	58.47	8.28±1.19	14.41
Лигнин, % (в побеге)	12.19±4.00	32.79	12.83±2.40	18.70
ДНК, мг г ⁻¹ (в семенах)	5.07±0.25	4.89	3.16±0.98	31.04
РНК, мг г ⁻¹ (в семенах)	3.02±0.69	22.97	2.11±0.61	29.07

Примечание: m – среднее значение, Sd – стандартное отклонение,
Cv – коэффициент вариации.

Количество белка в однолетнем побеге триплоидного сорта превышает на 17,5 % значения диплоидного сорта (рис., а). В листьях двух исследуемых сортов содержание белка изменяется в более широком диапазоне – от 3,8 до 6,3 мг г⁻¹ при отсутствии достоверных сортовых различий.

Показатели активности пероксидазы характеризуются более узкими пределами варьирования в побеге, чем таковые в листе (рис., б), причем для сорта Прикубанское разброс значений по листу максимальный (Cv~41 %). Активность пероксидазы в побегах растений яблони сорта Союз на 11,6 % достоверно превышает активность данного фермента в побегах сорта Прикубанское.

Значения МДА в листьях варьируют от 0,06 до 0,15 ммоль г⁻¹ сырого вещества и значимо не различаются между сортами (рис., в). В побеге среднее содержание МДА у сорта Союз составляет 0,17 ммоль г⁻¹, что на ~14 % превышает его среднее значение у сорта Прикубанское (~0,15 ммоль г⁻¹).

Процентное содержание лигнина в побеге варьирует от 9-11 % до 15 % у двух сортов, а в листьях растений сорта Прикубанское этот показатель на 68 % превышает таковой у сорта Союз (рис., г).

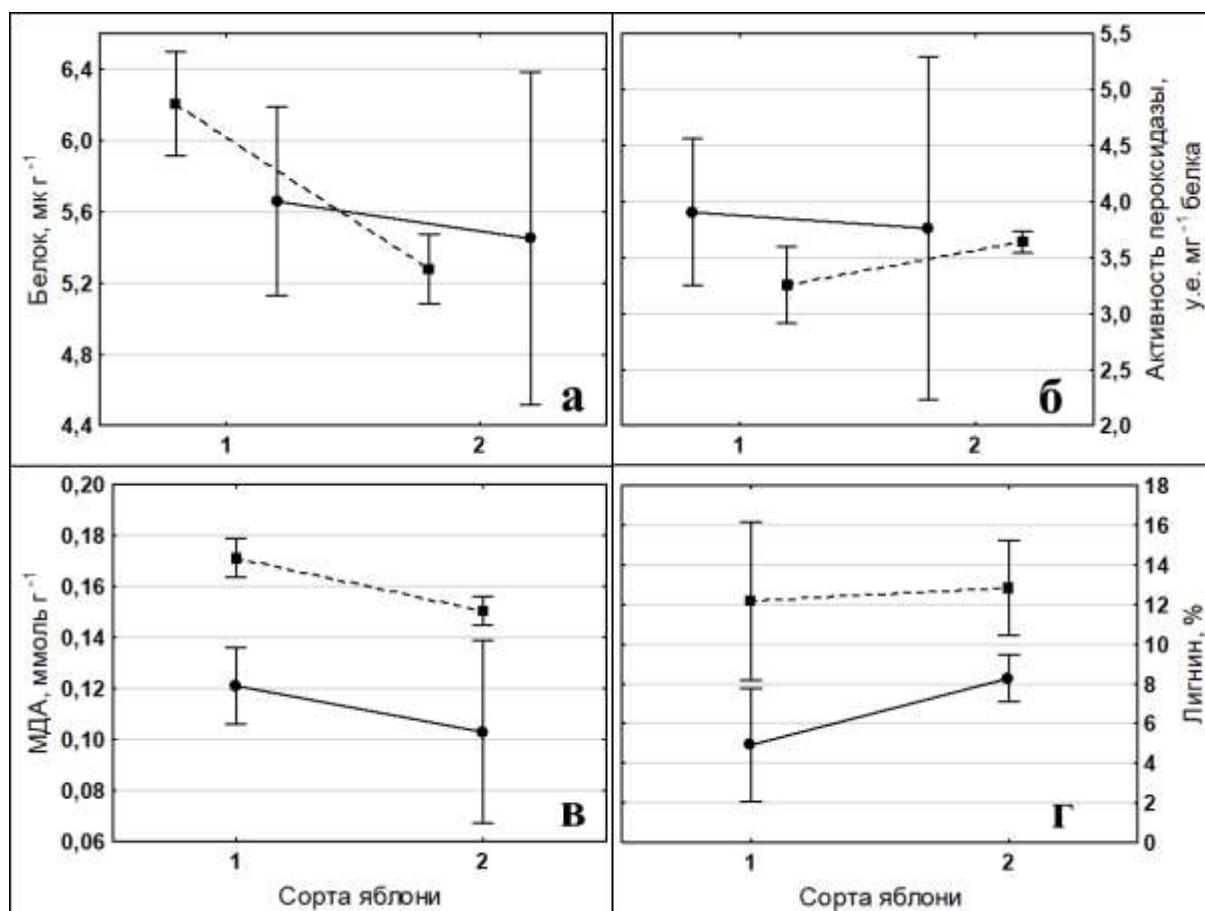


Рис. Сортные различия яблони по содержанию белка (а), уровню активности пероксидазы (б), содержанию МДА (в) и лигнина (г) в листьях и однолетних побегах

Примечание: на графиках отмечены средние значения и стандартные отклонения; 1 – сорт Союз (2n=3x); 2 – сорт Прикубанское (2n=2x); --■-- в побеге; --●-- в листе.

По содержанию нуклеиновых кислот в зрелых семенах триплоидный сорт Союз превосходит диплоид Прикубанское. Количество выделенной

ДНК из семян яблони Союз почти в 2 раза превышает показатель сорта Прикубанское (см. табл.).

Выявлена положительная корреляция содержания белка в побеге с количеством МДА в нем ($\rho=0.83$ при $p<0.05$, где ρ – коэффициент ранговой корреляции Спирмена) и с количеством белка в листе ($\rho=0.83$ при $p<0.05$). Отрицательная корреляция отмечена между уровнем активности пероксидазы в побеге и содержанием МДА в нем ($\rho = -0.89$ при $p<0.02$).

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о том, что изучаемые сорта яблони, вне зависимости от их плоидности, имеют наибольший разброс значений в листьях по исследованным признакам. Данное обстоятельство обусловлено постепенным повышением температуры воздуха в течение летнего периода, вследствие чего ответная реакция на стресс проявляется с разной интенсивностью, что и приводит к более высокой вариабельности значений параметров листа.

Напротив, в зимний период, сорта Союз и Прикубанское отличаются узким диапазоном показателей физиолого-биохимических параметров побега и имеют достоверные различия по некоторым из них. Эти различия позволяют заключить, что сорт Союз, характеризующийся большим содержанием белка в побеге, при этом обладает повышенным содержанием МДА и скоррелированным с ним пониженным уровнем активности пероксидазы, что является отражением его меньшей стрессоустойчивости в зимний период по сравнению с сортом Прикубанское.

Согласно полевым исследованиям степень устойчивости к морозам этих сортов выше средней, причем сорт Прикубанское относится к сортам зимнего срока созревания, тогда как Союз – летний сорт [21].

Испанские исследователи отмечали, что взрослые древесные растения в полевых условиях могут вовсе не иметь различий между тетраплоидными и диплоидными формами при воздействии неблагоприятных абиотических факторов среды [22]. В работе З.Е. Ожерельевой и Е.Н. Седова

были выделены группы морозоустойчивых сортов яблони высокой и средней степени среди как триплоидных, так и диплоидных сортов [23].

В итоге, на основании на полученных предварительных данных, мы можем заключить, что в исследованный период для триплоидного сорта яблони Союз характерна большая скорость метаболических процессов, но при этом в зимний период этот сорт проявил себя как менее устойчивый, антиоксидантная защита которого на воздействие низких температур воздуха была выражена слабо по сравнению с диплоидным сортом Прикубанское.

Литература

1. Ульяновская Е.В. Создание иммунных и устойчивых к парше генотипов яблони усовершенствованным методом полиплоидии // Научные труды ГНУ СКЗНИИСиВ. Т. 5. Краснодар: ГНУ СКЗНИИСиВ, 2014. С. 22-28.
2. Красова Н.Г., Ожерельева З.Е., Галашева А.М. Реализация генетического потенциала морозостойкости у гибридов яблони разной ploидности // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. № 21 (2). С. 214-221. DOI10.18699/VJ17
3. Создание триплоидных сортов яблони – приоритетное направление в селекции / Е.Н. Седов [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. № 21 (2). С. 207-213. DOI 10.18699/VJ17.238
4. Xue H., Zhang B., Tian J.R., Chen M.M., Zhang Y.Y., Zhang Z.H., Ma Y. Comparison of the morphology, growth and development of diploid and autotetraploid 'Hanfu' apple trees // Sci. Hort. 2017. № 225. P. 277-285. DOI 10.1016/j.scienta.2017.06.059
5. Прудников П.С., Седов Е.Н., Прудникова Е.Г. Сравнительная характеристика физиолого-биохимических показателей сортов *Malus domestica* L., отличающихся по уровню ploидности // Вестник ОрелГАУ. 2017. №3 (66). С. 10-15. DOI10.15217/48484
6. Ma Y., Zhang L., Li Y.Y., Dong Z.D. Characteristics of micro-structures and chlorophyll fluorescence parameters of diploid and autotetraploid 'Hanfu' apple leaves // Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica. 2012. V.32 (3). P.477-483.
7. Zhang F., Xue H., Lu X., Zhang B., Wang F., Ma Y., Zhang Z.H. Autotetraploidization enhances drought stress tolerance in two apple cultivars // Trees. 2015. № 29. P. 1773-1780. DOI10.1007/s00468-015-1258-4
8. Xue H., Zhang F., Zhang Z.H., Fu J.F., Wang F., Zhang B., Ma Y. Differences in salt tolerance between diploid and autotetraploid apple seedlings exposed to salt stress // Scientia Horticulturae. 2015. №190. P. 24–30. DOI 10.1016/j.scienta.2015.04.009
9. Hias N., Svara A., Keulemans J.W. Effect of polyploidisation on the response of apple (*Malus × domestica* Borkh.) to *Venturia inaequalis* infection // European Journal of Plant Pathology. 2018. №151. P. 515-526. DOI 10.1007/s10658-017-1395-2
10. Захарчук Н.В., Дорошенко Т.Н. Диагностика морозо-заморозкоустойчивости яблони // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2012. №12(48). С. 12-15.
11. Киселева Г.К. Анатомо-морфологическая оценка адаптивного потенциала сортов плодовых культур и винограда // Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве. Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2012. С. 199-205.

12. Nenko N.I., Kiseleva G.K., Ulyanovskaya E.V., Yablonskaya E.K., Karavayeva A.V. Physio-biochemical criteria for apple tree tolerance to summer abiotic stresses // *Agricultural Biology*. 2019. V. 54 (1). P. 158-168. DOI 10.15389/agrobiology.2019.1.158eng
13. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.
14. Bradford M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // *Anal. Biochem*. 1976. № 72. P. 248-254.
15. Fleck A., Munro H.N. The precision of ultraviolet absorption measurements in the Schmidt-Thannhauser procedure for nucleic acid estimation // *Biochim. biophys. Acta*. 1962. V. 55. P. 571-583.
16. Молекулярно-генетические и биохимические методы в современной биологии растений / Под ред. Вл.В. Кузнецова, В.В. Кузнецова, Г.А. Романова. М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2012. 487 с.
17. Методы биохимического исследования растений. / Под ред. д-ра биол. наук А.И. Ермакова. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: Колос, 1972. 456 с.
18. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: Учебное пособие для вузов. М.: Экология, 1991. 320 с.
19. Программа «Statistica»: методические указания к выполнению лабораторных работ / Сост.: Н.И. Тебайкина. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. 44 с.
20. Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений: (на примере семейства *Pinaceae* на Урале). М.: Наука, 1973. 282 с.
21. Атлас лучших сортов плодовых и ягодных культур Краснодарского края. Т. 1. Яблоня. Краснодар: ГНУ СКЗНИИСиВ Россельхозакадемии, 2008. 104 с.
22. García-García A.L., Grajal-Martín M.J., González-Rodríguez A.M. Polyploidization enhances photoprotection in the first stages of *Mangifera indica* // *Scientia Horticulturae*. 2020. №264. P. 1-8. DOI 10.1016/j.scienta.2020.109198
23. Ozherelieva Z., Sedov E. Low temperature tolerance of apple cultivars of different ploidy at different times of the winter. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Sec. B*. 2017. V. 71, No. 3 (708). P. 127–131. DOI 10.1515/prolas-2017-0022

References

1. Ul'yanovskaya E.V. Sozdanie immunnyh i ustojchivyh k parshe genotipov yablони usovershenstvovannym metodom poliploidii // *Nauchnye trudy GNU SKZNIISiV*. T.5. Краснодар: GNU SKZNIISiV, 2014. S. 22-28.
2. Krasova N.G., Ozherel'eva Z.E., Galasheva A.M. Realizaciya geneticheskogo potenciala morozostojkosti u gibridov yablони raznoj ploйдности // *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*. 2017. № 21 (2). S. 214-221. DOI10.18699/VJ17
3. Sozdanie triploidnyh sortov yablони – prioritetnoe napravlenie v selekcii / E.N. Sedov [i dr.] // *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*. 2017. № 21 (2). S. 207-213. DOI 10.18699/VJ17.238
4. Xue H., Zhang B., Tian J.R., Chen M.M., Zhang Y.Y., Zhang Z.H., Ma Y. Comparison of the morphology, growth and development of diploid and autotetraploid 'Hanfu' apple trees // *Sci. Hortic*. 2017. № 225. P. 277-285. DOI 10.1016/j.scienta.2017.06.059
5. Prudnikov P.S., Sedov E.N., Prudnikova E.G. Sravnitel'naya harakteristika fiziologo-biohimicheskikh pokazatelej sortov *Malus domestica* L., otlichayushchihsya po urovnyu ploйдности // *Vestnik OrelGAU*. 2017. №3 (66). S. 10-15. DOI10.15217/48484
6. Ma Y., Zhang L., Li Y.Y., Dong Z.D. Characteristics of micro-structures and chlorophyll fluorescence parameters of diploid and autotetra-ploid 'Hanfu' apple leaves // *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*. 2012. V.32 (3). P.477-483.

7. Zhang F., Xue H., Lu X., Zhang B., Wang F., Ma Y., Zhang Z.H. Autotetraploidization enhances drought stress tolerance in two apple cultivars // *Trees*. 2015. № 29. P. 1773-1780. DOI10.1007/s00468-015-1258-4
8. Xue H., Zhang F., Zhang Z.H., Fu J.F., Wang F., Zhang B., Ma Y. Differences in salt tolerance between diploid and autotetraploid apple seed-lings exposed to salt stress // *Scientia Horticulturae*. 2015. №190. P. 24–30. DOI 10.1016/j.scienta.2015.04.009
9. Hias N., Svara A., Keulemans J.W. Effect of polyploidisation on the response of apple (*Malus × domestica* Borkh.) to *Venturia inaequalis* infection // *European Journal of Plant Pathology*. 2018. №151. P. 515-526. DOI 10.1007/s10658-017-1395-2
10. Zaharchuk N.V., Doroshenko T.N. Diagnostika morozo-zamorozkoustojchivosti yabloni // *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami: elektronnyj nauchnyj zhurnal*. 2012. №12(48). S. 12-15.
11. Kiseleva G.K. Anatomico-morfologicheskaya ocenka adaptivnogo potenciala sortov plodovyh kul'tur i vinograda // *Sovremennye metodologicheskie aspekty organizacii selekcionnogo processa v sadovodstve i vinogradarstve*. Krasnodar: SKZNIISiV, 2012. S. 199-205.
12. Nenko N.I., Kiseleva G.K., Ulyanovskaya E.V., Yablonskaya E.K, Karavayeva A.V. Physio-biochemical criteria for apple tree tolerance to summer abiotic stresses // *Agricultural Biology*. 2019. V. 54 (1). P. 158-168. DOI 10.15389/agrobiology.2019.1.158eng
13. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P. *Metody biohimicheskogo issledovaniya rastenij*. L.: Agropromizdat, 1987. 430 s.
14. Bradford M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // *Anal. Biochem*. 1976. №72. P. 248-254.
15. Fleck A., Munro H.N. The precision of ultraviolet absorption measurements in the Schmidt-Thannhauser procedure for nucleic acid estimation // *Biochim. biophys. Acta*. 1962. V. 55. P. 571-583.
16. *Molekulyarno-geneticheskie i biohimicheskie metody v sovremennoj biologii rastenij* / Pod red. V.I. Kuznecova, V.V. Kuznecova, G.A. Romanova. M.: BINOM. Lab. znaniy, 2012. 487 s.
17. *Metody biohimicheskogo issledovaniya rastenij*. / Pod red. d-ra biol. nauk A.I. Ermakova. Izd. 2-e, pererab. i dop. L.: Kolos, 1972. 456 s.
18. Obolenskaya A.V., El'nickaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po himii drevesiny i cellyulozy: Uchebnoe posobie dlya vuzov*. M.: Ekologiya, 1991. 320 s.
19. *Programma «Statistica»: metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu laboratornyh rabot* / Sost.: N.I. Tebajkina. Ekaterinburg: GOU VPO UGTU–UPI, 2006. 44 s.
20. Mamaev S.A. *Formy vnutrividovoj izmenchivosti drevesnyh rastenij: (na primere semeystva Pinaceae na Urale)*. M.: Nauka, 1973. 282 s.
21. *Atlas luchshih sortov plodovyh i yagodnyh kul'tur Krasnodarskogo kraja*. T. 1. Yablonya. Krasnodar: GNU SKZNIISiV Rossel'hozakademii, 2008. 104 s.
22. García-García A.L., Grajal-Martín M.J., González-Rodríguez A.M. Polyploidization enhances photoprotection in the first stages of *Mangifera indica* // *Scientia Horticulturae*. 2020. №264. P. 1-8. DOI 10.1016/j.scienta.2020.109198
23. Ozherelieva Z., Sedov E. Low temperature tolerance of apple cultivars of different ploidy at different times of the winter. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Sec. B*. 2017. V. 71, No. 3 (708). P. 127–131. DOI 10.1515/prolas-2017-0022