

УДК 634.1:631.52

UDC 634.1:631.52

**ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ  
ОСОБЕННОСТИ УСТОЙЧИВОСТИ К  
ЗАСУХЕ ГЕНОТИПОВ ЯБЛОНИ  
РАЗНОЙ ПЛОИДНОСТИ**

**PHYSIOLOGICAL AND  
BIOCHEMICAL FEATURES OF  
RESISTANCE TO DROUGHT OF  
GENOTYPES OF THE APPLE-TREE  
OF VARIOUS PLOIDY**

Ульяновская Елена Владимировна  
д-р с.-х. наук

Ulyanovskaya Elena  
Dr. Sci. Agr.

Ненько Наталья Ивановна  
д-р с.-х. наук

Nenko Natalia  
Dr. Sci. Agr.

Захарова Марина Витальевна  
канд. с.-х. наук

Zaharova Marina  
Cand. Agr. Sci.

Караваяева Алла Витальевна

Karavaeva Alla

*Государственное научное учреждение  
Северо-Кавказский зональный научно-  
исследовательский институт  
садоводства и виноградарства  
Россельхозакадемии, Краснодар, Россия*

*State scientific organization North  
Caucasian Regional Research Institute of  
Horticulture and Viticulture of the Russian  
Academy of agricultural sciences,  
Krasnodar, Russia*

Приведены лабораторные и полевые  
данные по изучению физиолого-  
биохимических особенностей  
устойчивости к засухе разнохромосомных  
форм яблони.

Laboratory and field data on studying of  
physiological and biochemical features of  
resistance to drought of different  
chromosomal apple-tree forms are presented.

*Ключевые слова:* СОРТ, ЯБЛОНЯ,  
УСТОЙЧИВОСТЬ, ПЛОИДНОСТЬ

*Keywords:* GRADE, APPLE-TREE,  
RESISTANCE, PLOIDY

**Введение.** Природные условия прикубанской зоны Западного Предкавказья благоприятны для развития плодоводства. Однако отрицательными факторами летнего периода для произрастания плодовых культур в этой зоне являются: засуха, представленная всеми тремя компонентами – атмосферной, почвенной и иссушающей, высокой температурой воздуха, а также неустойчивый режим естественного увлажнения и неравномерное распределение осадков в течение вегетации.

Экстремальные условия водообеспеченности растений в южном регионе – одно из основных системообразующих лимитирующих факторов

среды, создающих большие трудности для промышленного садоводства. При недостатке влаги в почве у плодовых растений прекращается рост, завядают и осыпаются листья и плоды, происходит мельчание и ухудшение качества плодов, снижение или потеря урожая, кроме того, ухудшается закладка генеративных органов, что ведет к снижению урожая следующего года [7].

Одним из способов борьбы с засухой является повышение засухоустойчивости растений – сформированной в процессе эволюции или искусственного отбора способности растительного организма приспосабливаться к действию засухи и осуществлять рост, развитие и воспроизводство. Следует отметить, что степень засухоустойчивости для южных сортов имеет большое значение, так как большинство из них культивируется в неорошаемых условиях или при ограниченном орошении. Изменчивость реакции на недостаток влаги варьирует в значительных пределах, особенно при прививке на слаборослые клоновые подвой с поверхностно располагающейся корневой системой.

Цель исследования – оценка устойчивости к засухе и жаростойкости сортов яблони разной ploидности и выявление лучших генотипов, устойчивых к стрессовым факторам летнего периода.

**Объекты и методы исследований.** Исследования проводили в Северо-Кавказском зональном НИИ садоводства и виноградарства (СКЗНИИСиВ) в лабораторных и полевых условиях. Объекты исследования – сорта и гибриды яблони, созданные на основе видов, сортов, клонов и гибридных форм разного уровня ploидности. Оценка устойчивости к засухе сортов и гибридов проводили в ОПХ «Центральное» СКЗНИИСиВ в садах 1986 года посадки: подвой ММ 106, схема посадки 7×4 м; в садах 2000, 2001 года посадки: подвой М 9, схема посадки 5×2, 5×1,5 м [5, 8].

Засухоустойчивость определяли по методике М.Д. Кушниренко (1984); состояние водного режима растений – по М.Д. Кушниренко с сотр. (1970), жаростойкость – на приборе Агат-2 М по выходу электролитов (Кожушко, 1976), углеводы – по методу Н.В. Воробьева (1985) [2, 4, 5, 6]. Определение органических кислот выполнялось на приборе жидкостного электрофореза Капель 103 Р [3, 9].

**Обсуждение результатов.** Известно, что засухоустойчивость растения обусловлена его способностью противостоять обезвоживанию и перегреву. Восстановление после сильной засухи у полиплоидов происходит более интенсивно, так как удвоение генома растения нередко способствует усилению адаптационных возможностей, что делает его более засухоустойчивым [1]. Триплоидные и тетраплоидные сорта яблони имеют более крупные листья и замыкающие клетки устьиц, особенно в сравнении с диплоидными сортами-аналогами, а у тетраплоидов более широкий, толстый и жесткий лист. Возможно, что эти анатомо-морфологические особенности полиплоидов положительно влияют на оводненность ткани листа и способность противостоять засухе.

Для изучения устойчивости к засухе разнохромосомных сортов и форм яблони проводили экспресс-оценку с помощью измерения косвенного показателя водного режима – электрического сопротивления тканей листа (ЭСТЛ). В процессе исследования учитывалась закономерность – чем больше после подсушивания листьев возрастает ЭСТЛ, тем менее устойчиво растение к действию неблагоприятного фактора.

Исходя из полученных данных, по устойчивости к засухе выделяются тетраплоидные сорта: Альфа-68, Уэлси тетраплоидный, Мекинтош тетраплоидный; триплоидные сорта: Джонаголд, Союз, Родничок; триплоидная гибридная форма 44-29-35 (Пепин Рибстона св. оп.). Изменение величины ЭСТЛ варьирует у выделенных по устойчивости

к засухе тетраплоидных сортов яблони: Альфа-68 – от 183 до 216 кОм, Уэлси тетраплоидный – от 193 до 237 кОм, Мекинтош тетраплоидный – от 198 до 228 кОм; триплоидных сортов и форм: Джонаголд – от 180 до 223 кОм, Союз – от 183 до 222 кОм, Родничок – от 195 до 228 кОм, 44-29-35 – от 197 до 227 кОм.

Кроме того, выявлено, что сорт Мекинтош тетраплоидный имеет большую устойчивость к засухе по сравнению со своими диплоидными сортами-аналогами: Мекинтош и Джайент Мекинтош, что подтверждают данные экспресс-оценки засухоустойчивости.

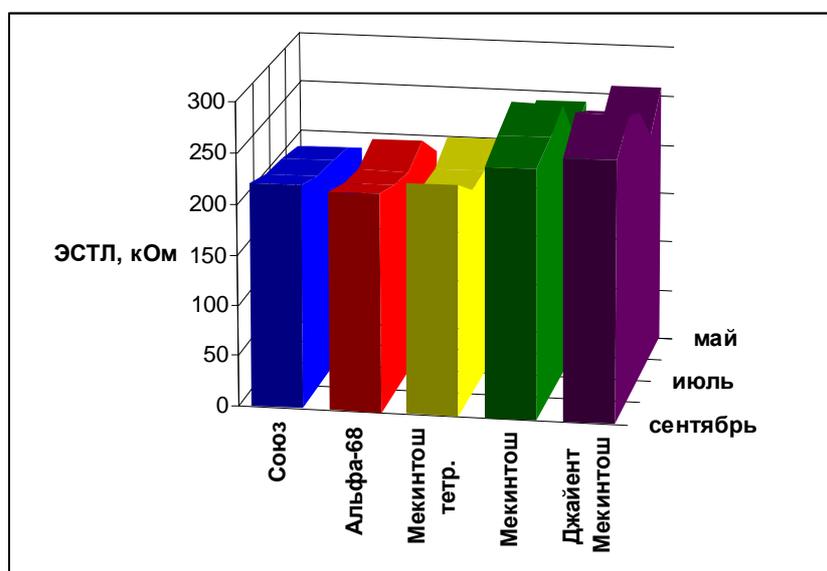


Рис. 1. Увеличение ЭСТЛ сортов яблони разной плоидности за 3 часа завядания, кОм

Среди изученных нами сортов яблони тетраплоидный сорт Альфа-68 и триплоиды Родничок и Союз особенно выделялись более крупными, темными, толстыми и жесткими листьями, долго не увядающими и не теряющими свежесть. Процесс завядания идет у этих полиплоидных сортов значительно медленнее, что подтверждают данные экспресс-оценки засухоустойчивости (рис. 1).

Таким образом, повышение уровня плоидности способствует увеличению способности растения противостоять засухе. Так, сорт Голден Делишес тетраплоидный не является засухоустойчивым, но он, судя по нашим данным, обладает большей устойчивостью к засухе по сравнению со своими диплоидными сортами-аналогами: Голден Делишес и Голд спур.

Анализ полученных результатов по экспресс-оценке засухоустойчивости сортов и гибридов яблони разной плоидности по косвенному показателю водного режима растения (ЭСТЛ) позволил выявить диагностический критерий устойчивости к засухе (ДКЗ) и разделить, согласно выявленному критерию, изученные генотипы на группы.

Таблица 1 – Диагностический критерий для прогнозирования засухоустойчивости сортов яблони по экспресс-методу определения ЭСТЛ

Диагностический критерий засухоустойчивости (ДКЗ*, кОм)	Прогнозируемая засухоустойчивость
< 225	высокая
225- 250	средняя
> 250	низкая

Примечание: \* – ДКЗ получен по формуле:  $ДКЗ = ЭСТЛ_n / n$ ;  
 $ЭСТЛ_n = ЭСТЛ_5 + ЭСТЛ_6 + ЭСТЛ_7 + ЭСТЛ_8 + ЭСТЛ_9 / 5$ ;  
 где  $ЭСТЛ_n$  – сумма среднегодовых значений ЭСТЛ;  
 n – количество лет исследования;  
 $ЭСТЛ_5$  – значение ЭСТЛ в мае,  $ЭСТЛ_6$  – в июне,  $ЭСТЛ_7$  – в июле,  
 $ЭСТЛ_8$  – в августе,  $ЭСТЛ_9$  – в сентябре.

Сорта с высокой степенью устойчивости к засухе имеют ДКЗ меньше 225 кОм, средnezасухоустойчивые – от 225 до 250 кОм, с низкой засухоустойчивостью – более 250 кОм (табл. 1, 2).

Таблица 2 – Результаты оценки засухоустойчивости разнохромосомных сортов и форм яблони по экспресс-методу определения ЭСТЛ (ОПХ «Центральное»)

Сорт, гибрид	Плоидность	ДКЗ, кОм	Прогнозируемая засухоустойчивость
Альфа-68	2n=4x	203,4	высокая
Джонаголд	2n=3x	204,4	высокая
Союз	2n=3x	205,4	высокая
Родничок	2n=3x	208,8	высокая
Уэлси тетр.	2n=4x	209,8	высокая
Мекинтош тетр.	2n=4x	210,4	высокая
44-29-35	2n=3x	211,6	высокая
Палитра	2n=2x	212,6	высокая
Амулет	2n=2x	233,2	средняя
Золотое летнее	2n=2x	240,0	средняя
Красный мак	2n=2x	243,8	средняя
Мекинтош	2n=2x	249,4	средняя
Джайент Мекинтош	2n=2x	260,2	низкая
Г. Делишес тетр.	2n=4x	262,2	низкая
Голден Делишес	2n=2x	266,4	низкая
Голд спур	2n=2x	266,6	низкая

В качестве критериев засухоустойчивости в лабораторных условиях использовали устойчивость к обезвоживанию и высокой температуре, а также изучали состояние фотосинтетического аппарата. Степень засухоустойчивости оценивали по группе прямых показателей, взаимодополняющих друг друга; жаростойкость листьев – кондуктометрическим способом на приборе Агат-2.

При изучении влияния полиплоидии на физиологию растений яблони объектами исследования были сорта различной плоидности, в том

числе триплоиды: Союз, Ноктюрн; диплоиды: Рассвет, Фортуна, Прима, Флорина, Василиса, Талида.

Оценка устойчивости к засухе генотипов яблони разной ploидности по динамике оводненности листьев выявила, что среди изученных сортов отличаются снижением содержания воды в тканях листьев в условиях засухи и высоких температур августа 2009 года, по сравнению с июнем, диплоидные сорта Рассвет и Талида. Наибольшая оводненность листьев отмечена у триплоидного сорта Союз. Необходимо отметить, что в течение вегетационного периода у всех исследуемых сортов яблони содержание воды снижается, минимум наблюдается в сентябре (рис. 2).

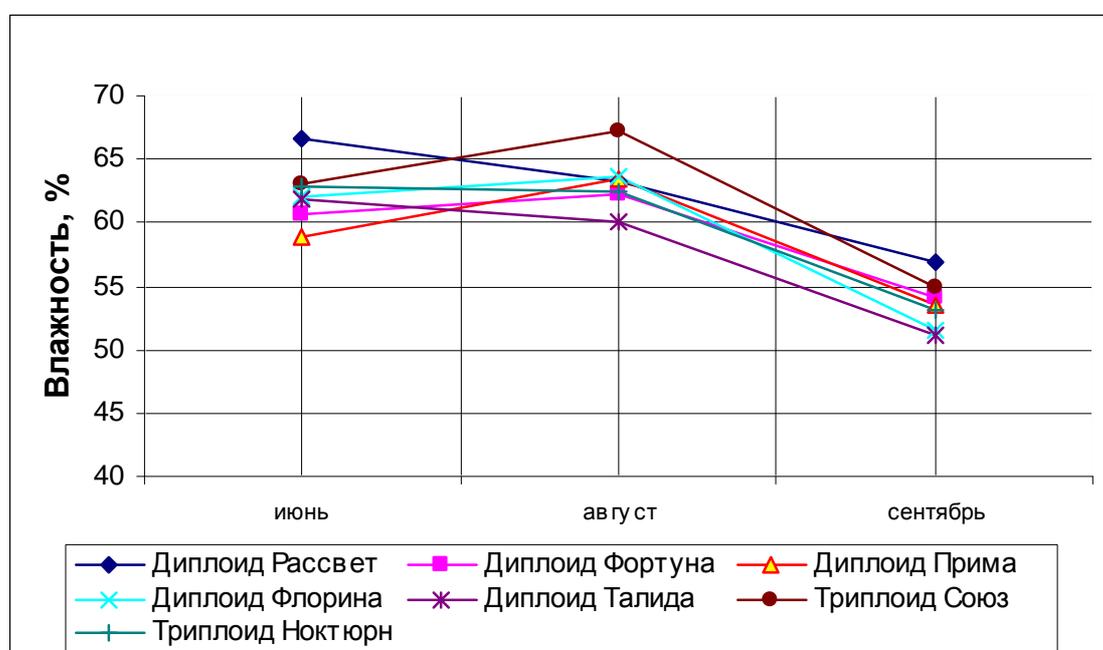


Рис. 2. Динамика оводненности листьев яблони

Основной показатель засухоустойчивости – водоудерживающая способность листа – характеризует состояние клеточных коллоидов и является обратной величиной от объема водопотерь при завядании. При оценке разнохромосомных сортов яблони различных сроков созревания наиболее высокая водоудерживающая способность листьев была отмечена у диплоида Рассвет и полиплоидов, особенно у сорта Союз. Содержание

связанной воды у полиплоидов изменяется незначительно, что характеризует их более высокую водоудерживающую способность (рис. 3, 4).

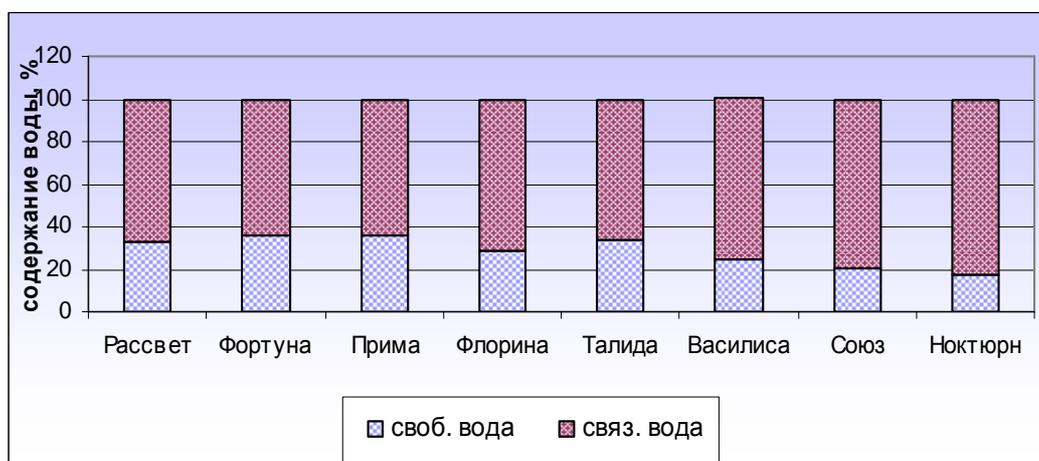


Рис. 3. Содержание свободной и связанной воды (%) в листьях яблони (июнь)

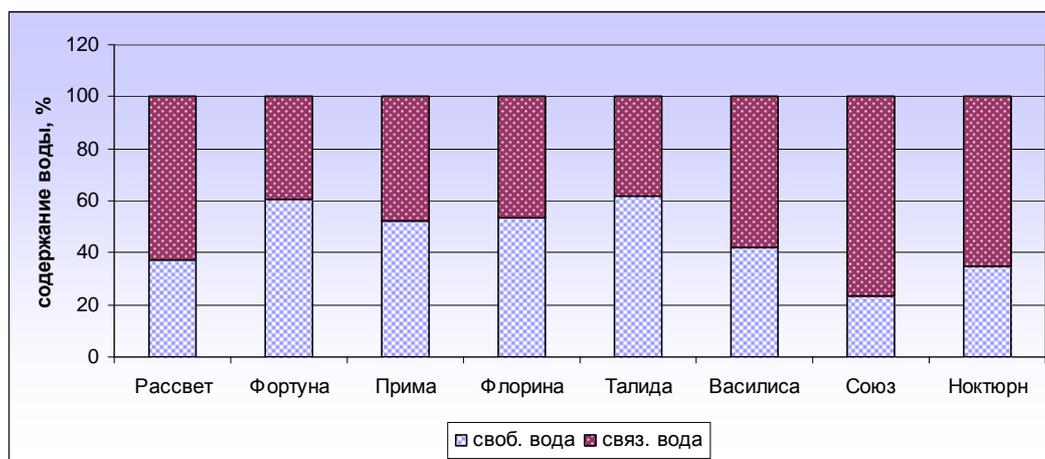


Рис. 4. Содержание свободной и связанной воды (%) в листьях яблони (август)

В период вегетации (несмотря на сильную засуху августа 2009 года) более высоким содержанием связанной воды отличались полиплоиды, особенно более раннего срока созревания (сорт Союз).

Выявлено, что осмотическую компоненту устойчивости в начале летнего периода (в июне) обеспечивало преимущественно присутствие

пролина в листьях, особенно у сортов позднего срока созревания (Флорина, Тагида, Василиса, Ноктюрн), а в конце летнего периода (в августе) – как пролина, так и сахарозы. При этом содержание сахарозы повышалось в большей мере у триплоидов Союз и Ноктюрн, а также у диплоидного сорта Тагида (рис. 5, 6).

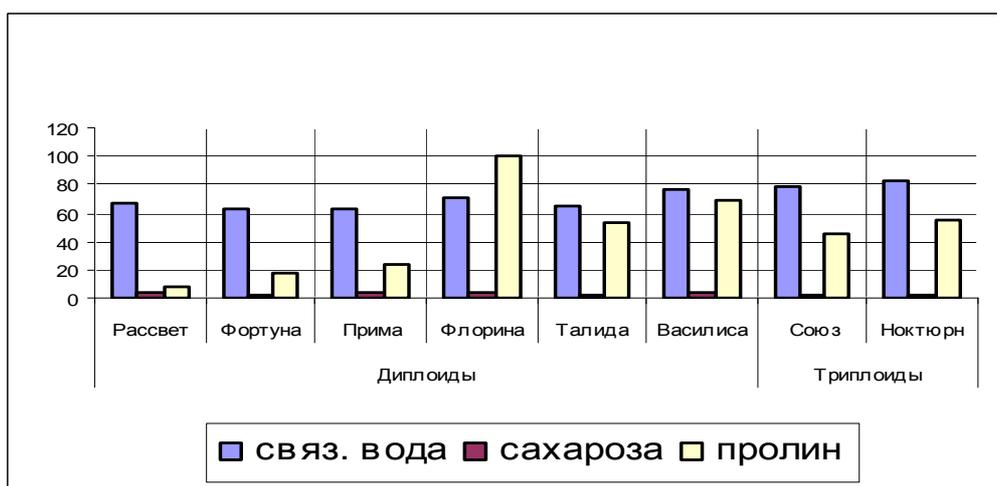


Рис. 5. Засухоустойчивость сортов яблони (июнь)

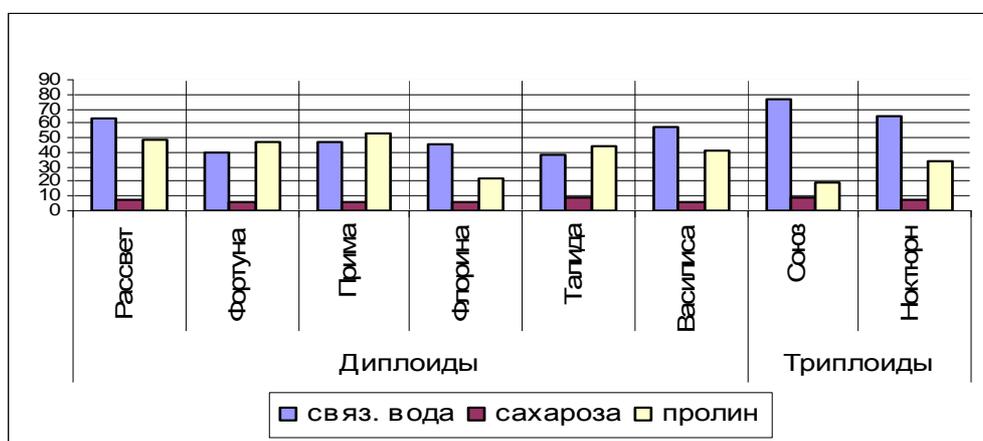


Рис. 6. Засухоустойчивость сортов яблони (август)

Среди диплоидов и полиплоидов большей жаростойкостью как в начале (в июне), так и в конце летнего периода (в августе), отличались сорта раннего срока созревания (коэффициент повреждения клеточных мембран был ниже у сортов Рассвет, Фортуна, Союз). При этом отмечено повышенное содержание фенолкарбоновых кислот, стабилизирующих

клеточные мембраны, у более отзывчивых сортов Флорина, Талида, Фортуна (рис. 7).

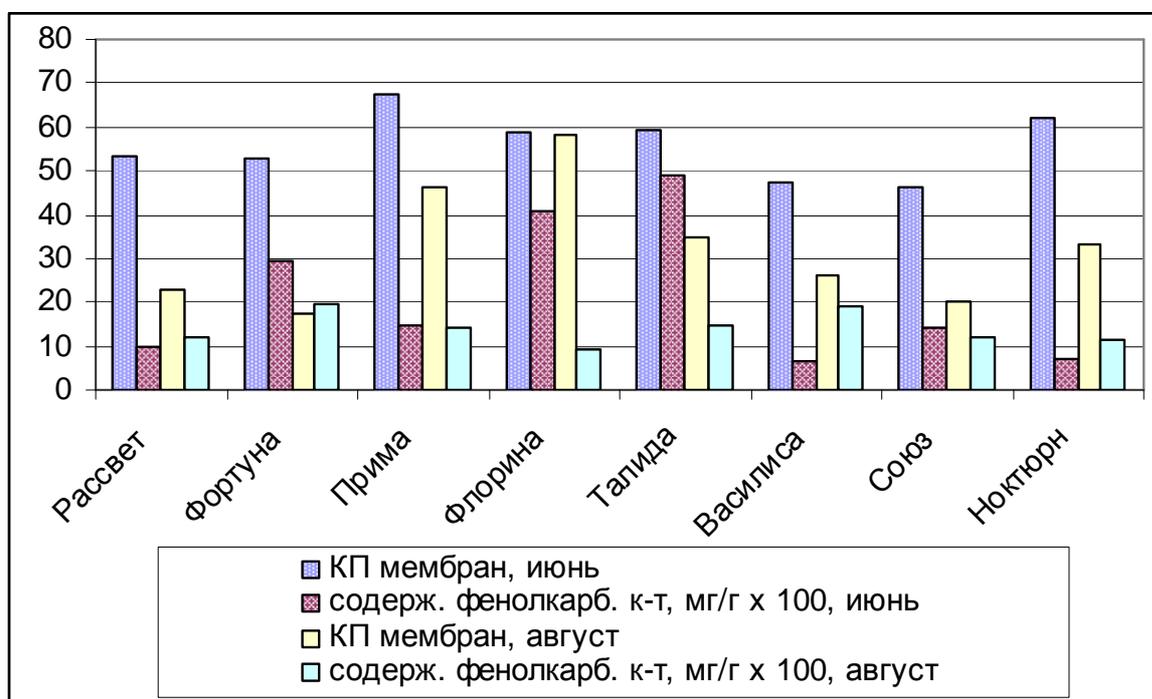


Рис. 7. Жаростойкость сортов яблони

Необходимо отметить, что при повышении температуры в августе 2009 года у всех исследуемых сортов отмечалось закаливание к воздействию высокой температуры, что проявлялось в снижении коэффициента повреждения мембран. Более устойчивыми к повышению температуры оказались сорта раннего срока созревания Рассвет, Фортуна и Союз. Наибольшее изменение содержания аскорбиновой кислоты, защищающей мембраны от свободнорадикальных процессов, отмечается у сортов Флорина и Талида (рис. 8).

При нарастании водного и температурного стрессов в августе увеличивается содержание крахмала в листьях у всех сортов, особенно позднеспелых. При этом содержание сахарозы в листьях также увеличивается у всех сортов, что связано с более активным гидролизом крахмала (рис. 9-11).

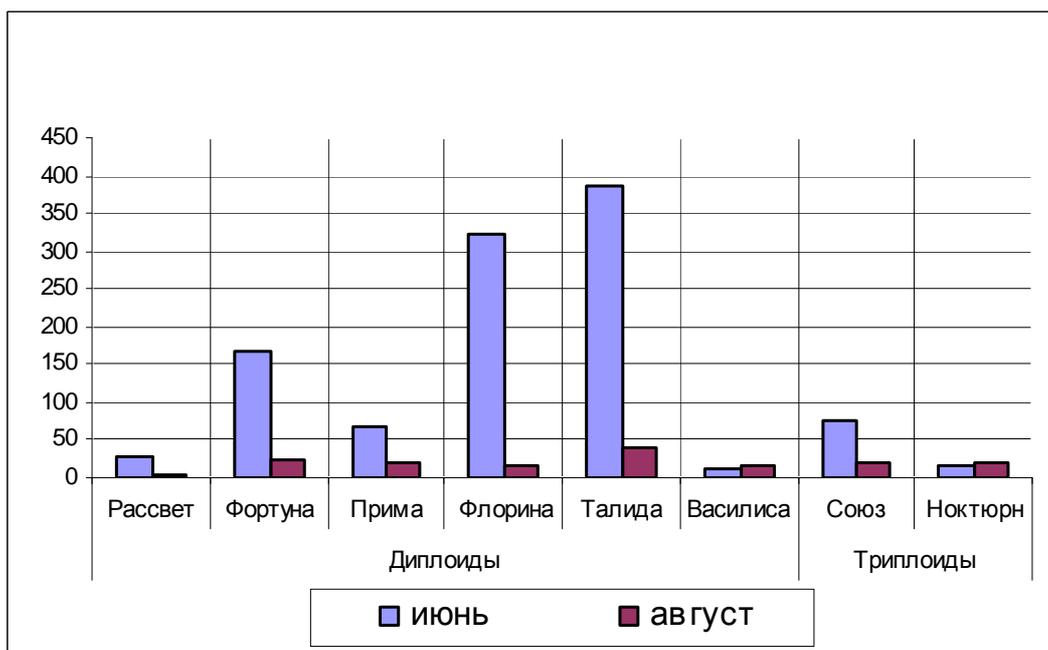


Рис. 8. Содержание аскорбиновой кислоты в листьях яблони (мг/кг)

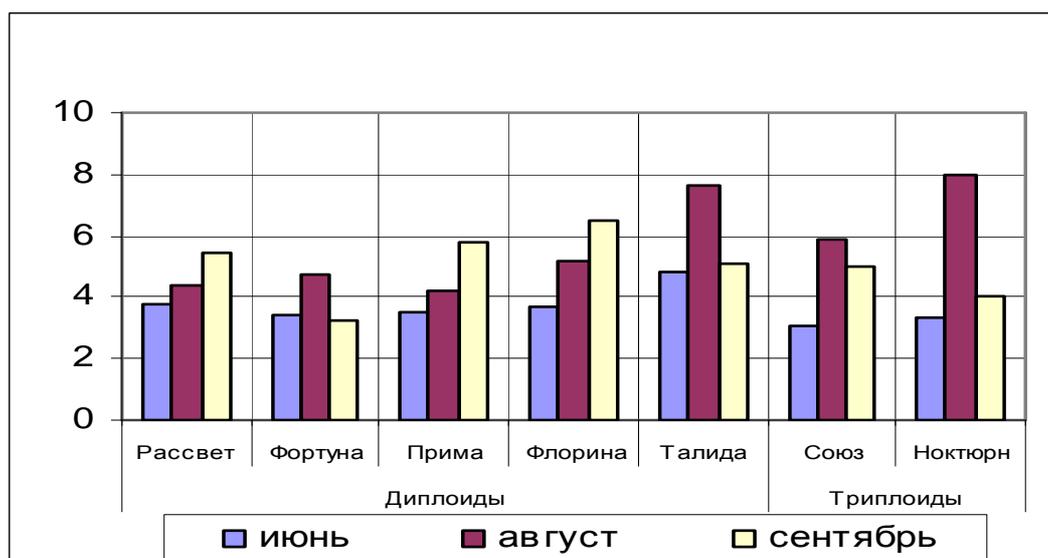


Рис. 9. Содержание крахмала в листьях яблони (мг/г)

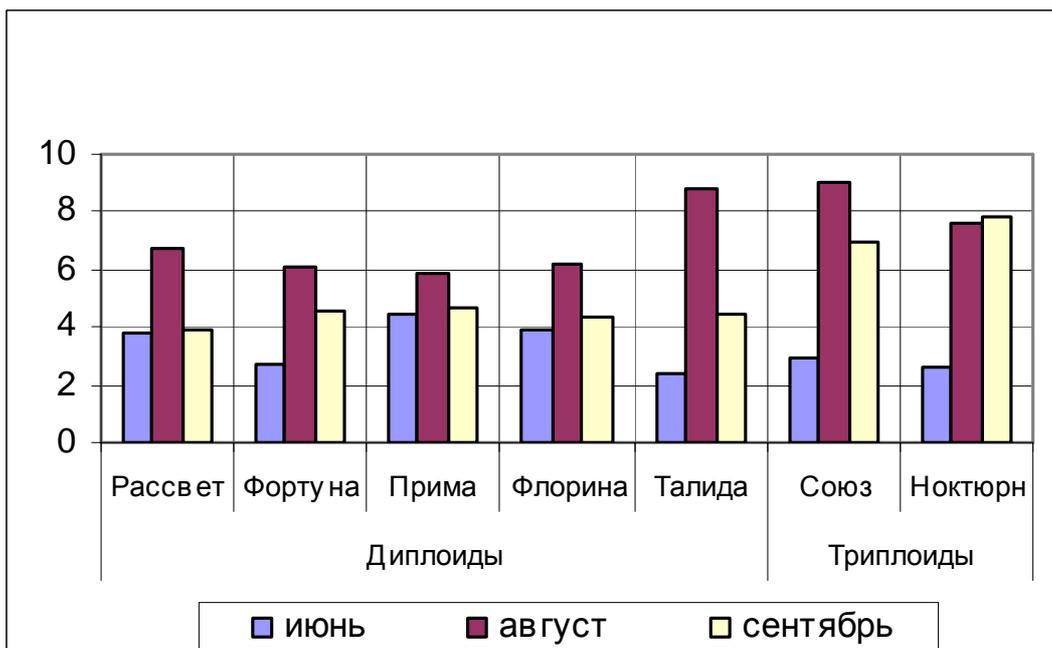


Рис. 10. Динамика содержания сахарозы в листьях яблони (мг/г)

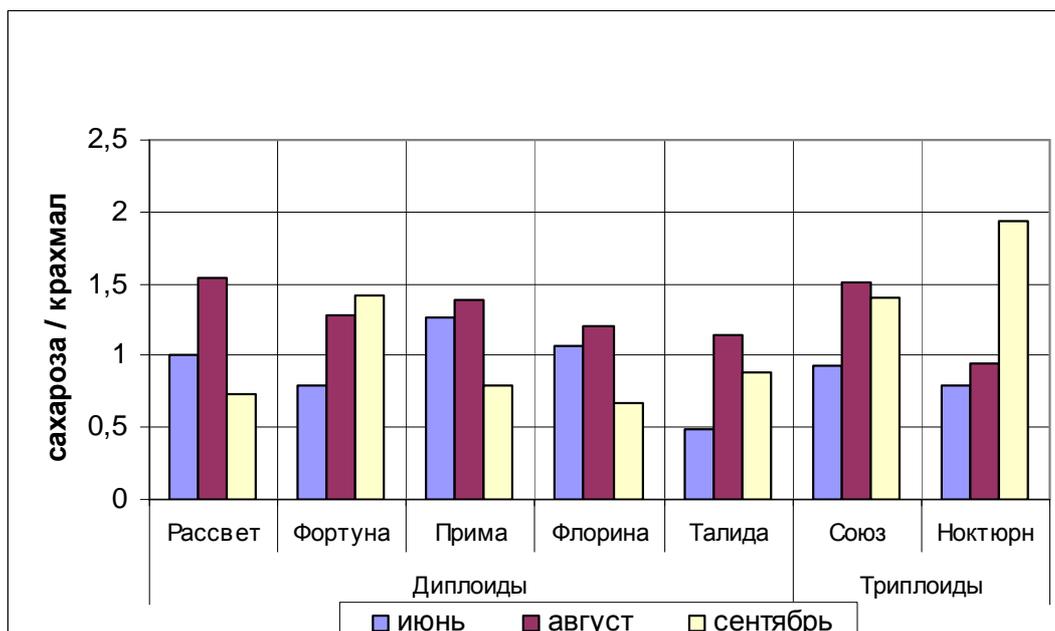


Рис. 11. Характеристика распада крахмала в листьях яблони в динамике

В сентябре содержание крахмала в листьях диплоидов (кроме Фортуны и Талиды) увеличивалось, а у полиплоидов снижалось.

Выявлено, что содержание хлорофилла в листьях в августе снижается у сортов Рассвет и Ноктюрн, у остальных диплоидов не уменьшается и у триплоида Союз возрастает, что характеризует их хорошую адаптационную устойчивость (рис. 12).

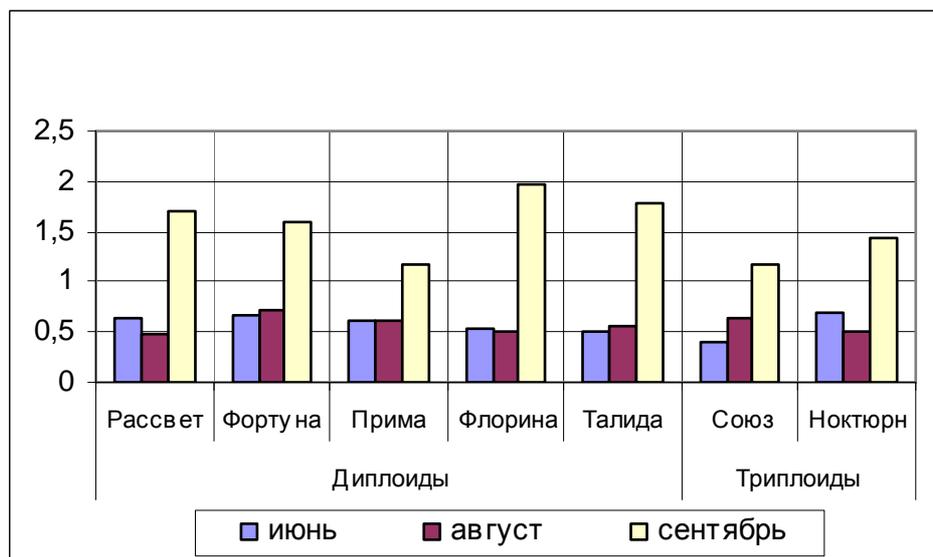


Рис. 12. Динамика содержания хлорофилла в листьях яблони (мг/г)

**Выводы.** В результате исследований выявлено, что повышение уровня плоидности положительно влияет на устойчивость растений к засухе. В то же время большей жаростойкостью в течение вегетационного периода как среди диплоидных, так и полиплоидных сортов отличаются сорта раннего срока созревания.

### Литература

1. Воробьев, Н.В. Определение содержания сахарозы, фруктозы и глюкозы в растительных тканях с помощью антронового реактива/ Воробьев Н.В. // Бюлл. НТИ ВНИИ риса.– Краснодар, 1985.– Вып. 33. – С. 11-13.
2. Генкель, П.А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений/ П.А. Генкель. – М.: Наука, 1982. – 280 с.
3. Комарова, Н.В. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «Капель»/ Н.В. Комарова, Я.С. Каменцев. – Санкт-Петербург, 2008. – 212 с.
4. Кожушко, Н.Н. Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды/ Н.Н. Кожушко. – Л., 1976. – С.32-43.

5. Кушниренко, М.Д. Методы изучения водного обмена и засухоустойчивости плодовых растений / Кушниренко М.Д., Гончарова Э.А., Бондарь Е.М. – Кишинев, 1970. – 78 с.

6. Кушниренко, М.Д. Методы диагностики засухо- и жароустойчивости плодовых культур / М.Д. Кушниренко, Г.П. Курчатова // Физиологические основы адаптации многолетних культур к неблагоприятным факторам среды. – Кишинев, 1984. – С.241-245.

7. Нестеров, Я.С. Генофонд яблони и его использование в селекции/ Я.С. Нестеров // Селекция яблони в СССР. – Орел, 1981. – С. 3-13.

8. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Орел, 1999. – 606 с.

9. Якуба, Ю.Ф. Применение СВЧ-экстракции и высокоэффективного капиллярного электрофореза для анализа вегетативных органов растений/ Ю.Ф. Якуба / Современное приборное обеспечение и методы анализа почв, кормов, растений и сельскохозяйственного сырья. – М., 2004. – С. 71-74.