

**ГЕНЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ И СОХРАНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ
ПРИРОДНЫХ И КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ: МОБИЛИЗАЦИЯ, ИЗУЧЕНИЕ,
СОХРАНЕНИЕ, ЭКСПОНИРОВАНИЕ**

УДК 633.811:581.19:58.032.3

**РОЛЬ НЕКОТОРЫХ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В
ЗАЩИТЕ ОТ ВОДНОГО СТРЕССА ГЕНОТИПОВ РОДА *ROSA* L.**

Оксана Анатольевна Гребенникова, Светлана Алексеевна Плугатарь
Никитский ботанический сад – Национальный научный центр
298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита, спуск Никитский, 52
E-mail: oksanagrebennikova@yandex.ru

Установлено содержание некоторых низкомолекулярных антиоксидантов в листьях ряда генотипов рода *Rosa* L. с различной степенью засухоустойчивости в оптимальные периоды вегетации и во время воздействия засухи. Содержание фенольных веществ определяли спектрофотометрическим методом, используя реактив Фолина-Чокальтеу, флавоноидов – спектрофотометрически с использованием реакции образования их комплексов с ионами алюминия, пролина – по модифицированной методике Чинарда с использованием нингидринового реактива, аскорбиновой кислоты – йодометрическим титрованием, воды – гравиметрическим методом. На протяжении трех лет исследований концентрация суммы фенольных соединений и флавоноидов в листьях отдельных генотипов в определенные периоды вегетации отличалась незначительно, содержание аскорбиновой кислоты – более значительно. Наиболее изменчивым показателем явилась концентрация пролина, величина которой зависела от конкретных погодных условий каждого года. Установлено, что в оптимальные периоды вегетации устойчивые к засухе генотипы отличались повышенным содержанием в листьях фенольных соединений, а неустойчивые – высоким содержанием пролина. Выявлены различия в реакции изучаемых генотипов садовых роз на стрессовые условия, вызванные засухой. Показано, что засухоустойчивые генотипы, *R. hugonis* и сорт Борисфен, обладают большей способностью адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды, увеличивая содержание низкомолекулярных антиоксидантов в ответ на стресс. Установлены особенности адаптации к засушливым условиям: увеличение содержания флавоноидов, аскорбиновой кислоты и пролина. Высокие концентрации фенольных соединений и в частности флавоноидов в листьях изучаемых генотипов в условиях засухи являются признаками засухоустойчивости, что позволяет использовать их в качестве маркеров устойчивости к засухе для генотипов рода *Rosa*.

Ключевые слова: низкомолекулярные антиоксиданты, фенольные соединения, флавоноиды, аскорбиновая кислота, пролин, представители рода *Rosa* L., засухоустойчивость

Введение

В настоящее время, в результате глобальных климатических изменений, остро стоит вопрос о недостаточности водных ресурсов в южных регионах (Ефимов и др., 2015), что объясняет актуальность выявления уровня засухоустойчивости растений. Абиотические стрессы, в частности водный стресс вызывает у растений увеличение образования активных форм кислорода (АФК), которые способны окислять множество клеточных компонентов, таких как белки и липиды, ДНК и РНК и повреждать мембрану клеток (Cruz de Carvalho., 2008). Поддержание окислительно-восстановительного гомеостаза клетки путем очистки от избыточно количества АФК осуществляется с помощью ферментативных и низкомолекулярных соединений, обладающих антиоксидантной активностью (Dumanović et al., 2021). В растениях в ответ на стресс, в качестве защитного механизма, происходит синтез низкомолекулярных антиоксидантов (Hernández et al., 2004; Bartoli et al., 2006; Radyukina et al., 2008; Sarrou et al., 2017). Низкомолекулярные метаболиты считаются более эффективными компонентами защитных систем клеток, поскольку ферментные системы могут ингибироваться при определенных стрессовых условиях (Radyukina et

al., 2019). В системе антиоксидантной защиты клеток в условиях абиотического и биотического стресса важными компонентами являются фенольные соединения, играющие значительную роль в росте и развитии растений (Albergaria, Oliveira, 2020). Одним из универсальных неферментативных антиоксидантов, обладающих значительным потенциалом не только удаления АФК, но и поддержания ряда фундаментальных функций в растениях является аскорбиновая кислота (Saed-Moucheshi et al., 2014; Akram et al., 2017). Во многих исследованиях показано протекторное действие пролина при стрессах. Пролин, синтезируемый растениями в стрессовых условиях, может выполнять функции осмотической регуляции, поглотителя свободных радикалов, активатора путей детоксикации АФК, стабилизатора субклеточных структур и мембран, а также являться источником энергии, азота и углерода (Man et al., 2011; Nayat et al., 2012).

Представители рода *Rosa* L. вызывают интерес для изучения как декоративные культура, позволяющая решать различные задачи в ландшафтном дизайне Южного берега Крыма (Плугатарь, 2017).

Для выращивания садовых роз климатические условия Южного берега Крыма довольно благоприятны, тем не менее, атмосферные и почвенные засухи в сочетании с высокими температурами воздуха летом оказывают негативное влияние на их декоративность и жизнедеятельность (Плугатарь и др., 2015). По этой причине, представляют интерес генотипы рода *Rosa* с высокой адаптационной способностью к засушливым условиям. В качестве маркеров засухоустойчивости могут использоваться некоторые низкомолекулярные антиоксиданты. Для этого необходимо установить изменения в содержании основных антиоксидантов в листьях садовых роз при воздействии засухи. В научной литературе информации об изменении содержания соединений, обладающих антиоксидантной активностью, в листьях садовых роз под воздействием стресса не найдено.

Таким образом, цель наших исследований заключалась в выявлении связи содержания в листьях роз некоторых низкомолекулярных антиоксидантов: фенольных соединений, аскорбиновой кислоты и пролина со степенью засухоустойчивости.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в 2022-2024 годах в Никитском ботаническом саду. Объектами исследования явились отобранные из коллекции ботанического сада виды рода *Rosa*: *R. bracteata* J.C. Wendl., *R. chinensis* var. *minima* (Sims) Voss., *R. gallica* L., *R. hugonis* Hemsl., *R. foetida* var. *persiana* (Lem.) Pehder, а также сложные межвидовые гибриды: *R. odorata* var. *gigantea* Reder & Wilson × *R. multiflora* Thunb. и *R. fedtschenkoana* Regtl. × Kordes Sondermeldungis (сорт Борисфен). Данные генотипы различаются по степени устойчивости к засухе: *R. hugonis* и сорт Борисфен проявили максимальную засухоустойчивость, *R. bracteata* – лабильность к засухе, *R. odorata* var. *gigantea* × *R. multiflora*, *R. chinensis* var. *minima*, *R. foetida* var. *persiana* – чувствительность к засухе, а *R. gallica* – максимальную неустойчивость (Grebennikova et al., 2023).

Для проведения исследований использовали листья с трех растений каждого генотипа в разные периоды вегетации: оптимальные, до наступления засухи (контроль), и во время засухи, учитывая метеорологические данные прошлых лет. Во время проведения исследований метеорологические условия в разные годы отличались. В первой половине июня 2022-2024 гг условия вегетации были оптимальными: невысокие температуры воздуха и достаточное количество осадков. Так, в первой декаде июня 2022 года наблюдалась преимущественно теплая, временами жаркая погода. В среднем за декаду температура воздуха составила 23,6°C, осадков выпало 5,5 мм или 40% от

нормы. Во второй декаде июня 2023 года погода была вначале прохладной с осадками, а затем теплой. В среднем за декаду температура воздуха составила 20,9°C, осадков выпало 30,5 мм. Во второй декаде июня 2024 года наблюдалась преимущественно теплая, временами жаркая с осадками погода. В среднем за декаду температура воздуха составила 23,6°C. В середине декады прошли обильные дожди, суммарно составив 38,9 мм. Засушливые условия наступали в первой половине августа. В первой декаде августа 2022 года наблюдалась жаркая и относительно сухая погода. В среднем за декаду температура воздуха составила 26,7°C, что на 2,2°C выше нормы. Максимальная температура воздуха днем повышалась до 33,6°C. Суммарное количество осадков составило 7,7 мм или 54% от нормы. Во второй декаде августа 2023 года, благодаря влиянию тропических воздушных масс, преобладала жаркая, ветреная и сухая погода. В течение почти всей декады дул сухой северо-восточный ветер. В среднем за декаду температура воздуха составила 28,1°C, что выше нормы на 3,6°C. Максимальная температура воздуха днем повышалась до 34,0°C. Осадков выпали лишь в первый день декады и в сумме составили 4,4 мм или 31% от нормы. Во второй декаде августа 2024 года наблюдалась жаркая и сухая погода. В среднем за декаду температура воздуха составила 26,3°C (на 1,8°C выше нормы). Максимальная температура воздуха днем повышалась до 34,1°C. Осадков не было.

Содержание фенольных веществ определяли спектрофотометрическим методом, используя реактив Фолина-Чокальтеу (Гержикова, 2002), флавоноидов – спектрофотометрически с использованием реакции образования их комплексов с ионами алюминия (Булатов и др., 2012), пролина – по модифицированной методике Чинарда с использованием нингидринового реактива (Шихалеева и др., 2014), аскорбиновой кислоты – йодометрическим титрованием (Рихтер, 1999), воды – гравиметрическим методом (Физиологические и биофизические методы..., 1991). Опыты проводили в трехкратной повторности.

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования выявили, что в тканях листьев большинства изучаемых генотипов садовых роз в периоды засухи содержание воды в разной степени снижалось (рис. 1).

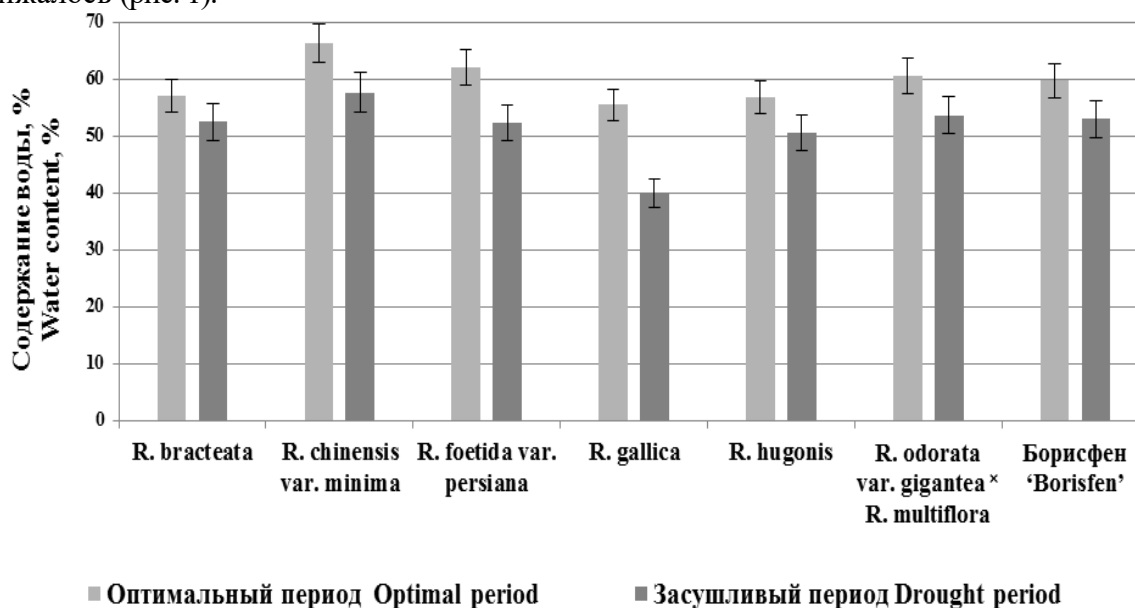


Рис. 1 Содержание воды в листьях садовых роз в разные периоды вегетации (среднее за три года)
Fig. 1 Water content in the leaves of garden roses at different periods of vegetation (average over three years)

В листьях вида *R. gallica* в периоды засухи происходило максимальное снижение количества воды, составлявшие 15,1-15,9%, по сравнению с периодами достаточного увлажнения. Также высокие потери влаги в тканях листьев в периоды засухи были зафиксированы у видов *R. chinensis* var. *minima* и *R. foetida* var. *persiana*: 8,6-9,9%. У остальных изучаемых генотипов потери воды во время засухи не превышали 7,0%, что свидетельствует об их более высокой адаптационной способности к засушливым условиям. Из литературных источников известно, что стабильное содержание воды в листьях является признаком устойчивости растений к засухе (Bandurska, Jóźwiak, 2010).

Выявлено, что в оптимальные периоды вегетации в листьях изучаемых генотипов садовых роз концентрация фенольных соединений варьировала в диапазоне от 2374 до 3583 мг/100 г в пересчете на сухой вес (рис. 2).

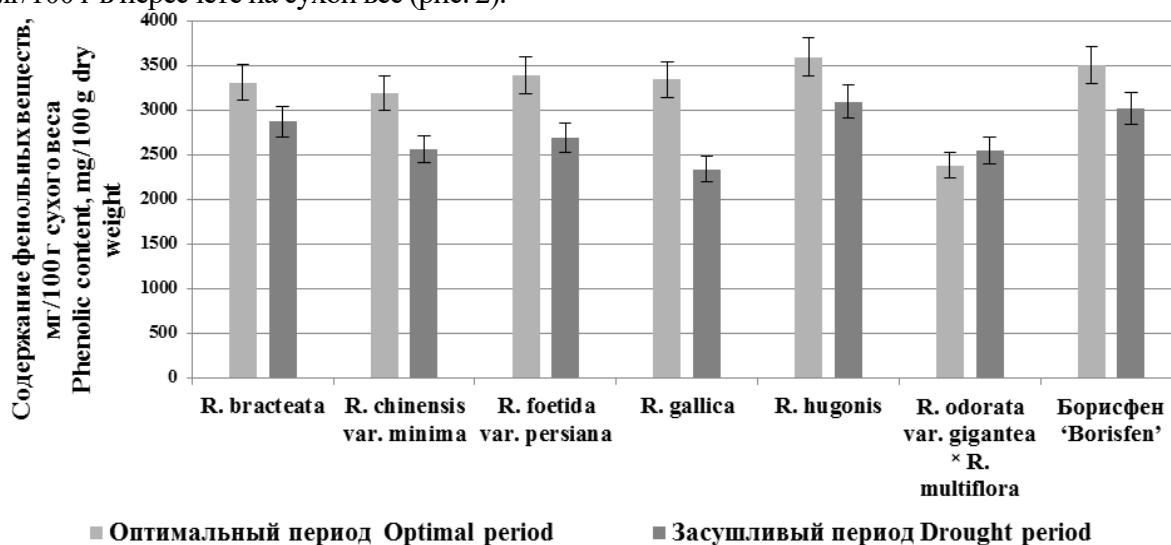


Рис. 2 Содержание фенольных соединений в листьях садовых роз в разные периоды вегетации (среднее за три года)
Fig. 2 Content of phenolic compounds in the leaves of garden roses at different periods of vegetation (average over three years)

Содержание фенольных веществ в листьях каждого исследуемого генотипа садовых роз в разные годы отличалось незначительно, коэффициенты вариации данного показателя не превышали 11,7%. При этом самые высокие концентрации фенольных соединений в листьях исследуемых генотипов были выявлены в июне 2023 года, а самые низкие – в июне 2024, что связано с конкретными погодными условиями этих лет перед проведением анализов. Так, в 2023 году перед проведением исследований погода была прохладной и дождливой, а в 2024 году исследованиям предшествовала длительная засуха и жаркая погода. В листьях большинства изучаемых генотипов роз не было выявлено значимых отличий в концентрации фенольных веществ, тем не менее, листья засухоустойчивых генотипов, вида *R. hugonis* и сорта Борисфен, выделялись самым высоким содержанием данных соединений. Исключением явились листья межвидового гибрида *R. odorata* var. *gigantea* * *R. multiflora*, которые отличались от остальных изучаемых генотипов минимальной концентрацией фенольных соединений. В периоды засухи концентрация фенольных соединений в листьях большинства изучаемых генотипов в разной степени снижалась, за исключением гибрида *R. odorata* var. *gigantea* * *R. multiflora*. В листьях неустойчивых к засухе генотипов: *R. chinensis* var. *minima*, *R. foetida* var. *persiana* и *R. gallica* потери фенольных соединений при воздействии засухи были максимальными, составляя 19,6%, 20,6% и 30,1% соответственно. В листьях видов *R. bracteata*, *R. hugonis* и сорта

Борисфен концентрация фенольных веществ изменилась незначительно, на 13,2-13,9%, что, вероятно, связано с их большей способностью адаптироваться к условиям засухи. В результате такой реакции на засуху, устойчивые генотипы в засушливые периоды выделялись максимальным содержанием фенольных веществ. Также высокой концентрацией фенольных соединений в листьях во время засухи отличался и л к засухе вид с лабильной устойчивостью, *R. bracteata*. Полученные результаты согласуются с мнением некоторых исследователей, описывающих фенольные вещества как индикаторы устойчивости растений к абиотическому стрессу и считающих, что устойчивые растения накапливают более высокие концентрации данных соединений (Quan et al., 2016). Содержание флавоноидов в листьях садовых роз в периоды достаточного увлажнения колебалось в пределах от 596 до 1582 мг/100 г в пересчете на сухой вес и не зависело от степени засухоустойчивости (рис. 3). Значения данного показателя в листьях каждого генотипа в разные годы исследования отличались незначительно, коэффициенты вариации не превышали 9,8%.

В 2022 и 2024 годах концентрации флавоноидов в листьях отдельных генотипов были практически равны (разница не превышала ошибки измерения), а в 2023 году значения данного показателя были ниже, что связано с более прохладной погодой в этом году перед проведением исследования. Во время наступления засухи содержание флавоноидов в листьях изучаемых генотипов, в отличие от суммарного содержания фенольных соединений, в разной степени увеличивалось. Значимое увеличение концентрации флавоноидов, на 40,0-63,4%, во время засухи произошло в листьях генотипов *R. bracteata*, *R. hugonis*, *R. odorata* var. *gigantea* × *R. multiflora* и сорта Борисфен, что свидетельствует об активации у них защитной реакции при нарастании абиотического стресса. В листьях остальных изучаемых генотипов содержание данных соединений значимо не изменилось. В засушливые периоды максимальным содержанием флавоноидов отличались устойчивые генотипы, вид *R. hugonis* и сорт Борисфен. Известно, что флавоноиды, наряду с общим содержанием фенольных соединений, являются маркерами засухоустойчивости и высокое содержание данных соединений характерно для устойчивых к засухе генотипов (Quan et al., 2016).

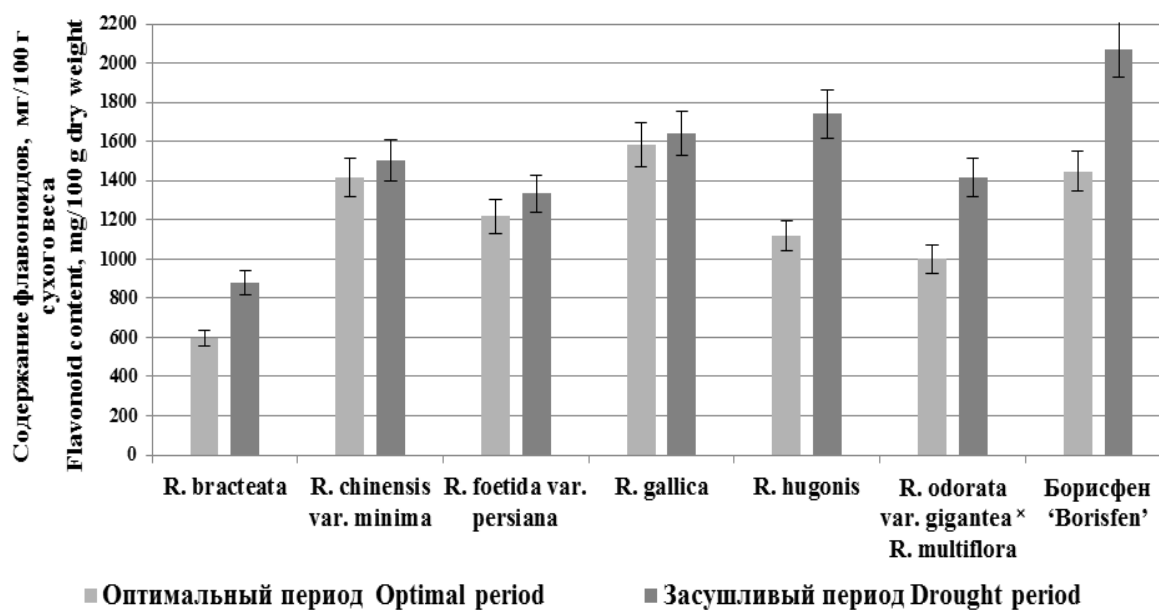


Рис. 3 Содержание флавоноидов в листьях садовых роз в разные периоды вегетации (среднее за три года)

Fig. 3 Flavonoid content in the leaves of garden roses at different periods of vegetation (average over three years)

Концентрация аскорбиновой кислоты в оптимальные периоды вегетации варьировала в диапазоне от 42,8 до 118,3 мг/100 г в пересчете на сухой вес (рис. 4). Изменения величины данного показателя в листьях отдельных генотипов в разные годы исследования, по сравнению с фенольными соединениями, были значительнее; коэффициенты вариации составляли от 10,4 до 15,7%. Самые высокие концентрации аскорбиновой кислоты в листьях садовых роз были выявлены в 2024 году, а самые низкие – в 2023, за исключением вида *R. foetida* var. *persiana* и сорта Борисфен, что связано с погодными условиями каждого года и видовыми особенностями. Величина данного показателя не зависела от засухоустойчивости изучаемых генотипов садовых роз. Максимальной концентрацией аскорбиновой кислоты в листьях на протяжении трех лет выделялся вид *R. foetida* var. *persiana*. Известно, что стрессовая реакция на засуху сопровождается образованием АФК, детоксикация которых происходит с помощью низкомолекулярных антиоксидантов, среди которых наиболее распространенным является аскорбиновая кислота (Akram et al., 2017). При этом на фоне засухи содержание аскорбиновой кислоты в листьях изучаемых генотипов изменялось разнонаправленно. Наиболее существенно концентрация аскорбиновой кислоты увеличилась в листьях устойчивых генотипов: вида *R. hugonis* и сорта Борисфен, на 32,6 % и 39,2% соответственно. В листьях генотипов *R. bracteata* и *R. odorata* var. *gigantea* × *R. multiflora* в засушливый период происходило незначительное увеличение содержания аскорбиновой кислоты, на 14,7% и 14,8% соответственно. В листьях вида *R. chinensis* var. *minima* на фоне засухи не произошло изменений в содержании аскорбиновой кислоты, тогда как у видов *R. foetida* var. *persiana* и *R. gallica* концентрация данного соединения уменьшилась на 19,2% и 12,5% соответственно. Увеличение содержания аскорбиновой кислоты в листьях засухоустойчивых генотипов, вида *R. hugonis* и сорта Борисфен, свидетельствует об усилении защитной реакции при развитии окислительного стресса, вызванного засухой.

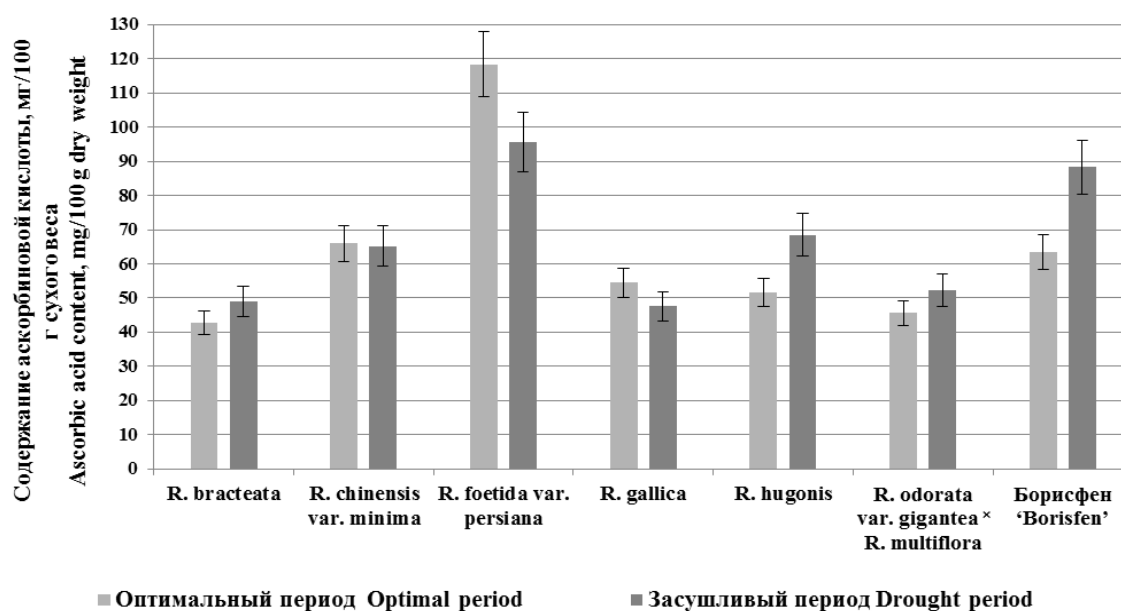


Рис. 4 Содержание аскорбиновой кислоты в листьях садовых роз в разные периоды вегетации (среднее за три года)

Fig. 4 Content of ascorbic acid in the leaves of garden roses at different periods of vegetation (average over three years)

В оптимальные периоды вегетации на протяжении трех лет исследований изучаемые генотипы накапливали различное содержание пролина в листьях. Величина данного показателя зависела от конкретных погодных условий года, что не позволяет

обобщить полученные данные. Так в 2022 году концентрация пролина колебалась в пределах от 177 до 601 мкг/г сухого веса, в 2023 году – от 152 до 311 мкг/г сухого веса, в 2024 – от 319 до 765 мкг/г сухого веса (рис. 5). Минимальное содержание пролина накапливалось в 2023 году, что, вероятно, связано с прохладной дождливой погодой перед проведением исследований. В 2022 году накануне исследований погода была жаркой, количество выпавших осадков было недостаточным (40% от нормы), что привело к повышенному накоплению данной аминокислоты. В 2024 году погода также была жаркой и, не смотря на обильные осадки, перед дождями наблюдалась продолжительная двухмесячная засуха, что способствовало максимальному накоплению данной аминокислоты.

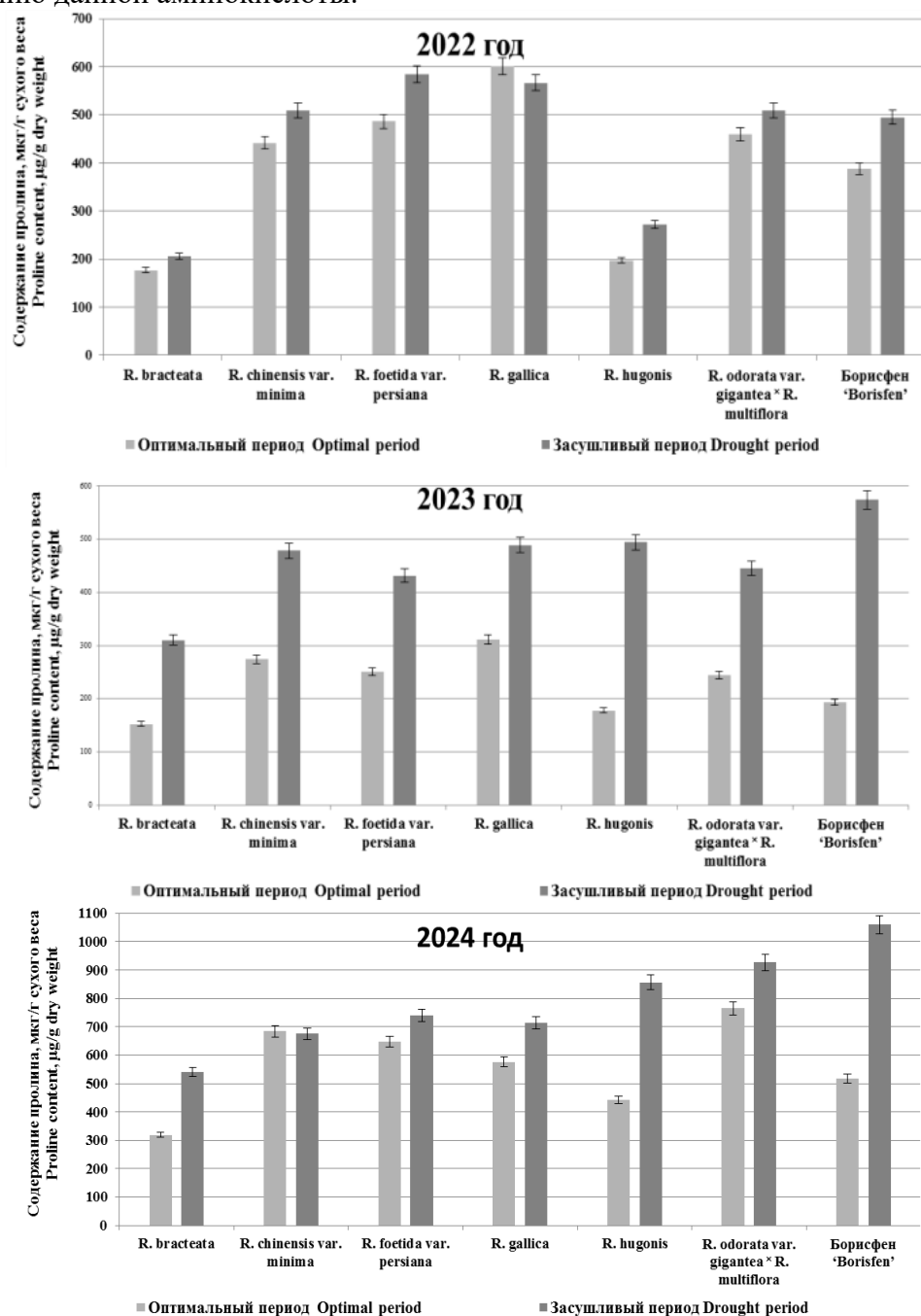


Рис. 4 Содержание пролина в листьях садовых роз в разные периоды вегетации
Fig. 4 Content of proline in the leaves of garden roses at different periods of vegetation

Таким образом, накоплению пролина способствует жаркая и засушливая погода. В оптимальные периоды вегетации на протяжении трех лет исследований в листьях засухоустойчивых генотипов содержание пролина было минимальным.

Не смотря на различный уровень концентрации пролина в оптимальные периоды вегетации, недостаточное количество осадков на фоне высоких температур воздуха в засушливые периоды приводило к повышению содержания данной аминокислоты в листьях большинства изучаемых генотипов. Рост концентрации пролина на фоне засухи в каждом году исследования был различен. В 2022 году концентрация данной аминокислоты в листьях большинства генотипов роз выросла на 10,9-38,1%, за исключением вида *R. gallica*. В 2023 году рост концентрации пролина под воздействием засухи был максимальным и составил 57,2-197,4%. Такое значительное повышение уровня пролина можно объяснить максимально контрастным изменением погодных условий между исследованиями в разные периоды вегетации: перед проведением определения содержания пролина в июне погода была прохладной и дождливой, а в августе – жаркой, сухой и ветреной, вызывая воздушную и почвенную засуху. В 2024 году концентрация пролина в засушливый период в листьях большинства исследуемых генотипов выросла на 14,4-104,6%, за исключением вида *R. chinensis* var. *minima*. Листья засухоустойчивых генотипов, вида *R. hugonis* и сорта Борисфен, на протяжении всего периода исследований выделялись максимальным накоплением пролина под воздействием засухи. Из литературных источников известно, что устойчивые к засухе растения отличаются повышенным синтезом пролина в условиях стресса, вызванного засухой (Man et al., 2011; Anjum et al., 2016). Увеличение концентрации данной аминокислоты во время засухи может свидетельствовать об участии пролина в осмотической регуловке, смягчающей негативные последствия стресса, вызванного засухой.

Таким образом, изучаемые генотипы садовых роз на стрессовые условия, вызванные засухой, реагировали по-разному. Увеличение содержания флавоноидов, аскорбиновой кислоты, пролина и минимальные потери фенольных соединений в листьях засухоустойчивых генотипов, вида *R. hugonis* и сорта Борисфен, в условиях засухи свидетельствует об усилении защитной реакции при развитии стресса и, как следствие, высокой адаптационной способности к изменению условий внешней среды.

Заключение

Установлено содержание некоторых низкомолекулярных антиоксидантов в листьях изучаемых генотипов садовых роз с различным уровнем засухоустойчивости в оптимальные периоды вегетации и во время воздействия засухи.

В течение трех лет исследований концентрация суммы фенольных соединений и флавоноидов в листьях отдельных генотипов в определенные периоды вегетации отличалась незначительно. Более значимые отличия проявились в содержании аскорбиновой кислоты. Наиболее изменчивым показателем явилась концентрация пролина, величина которой зависела от конкретных погодных условий каждого года. Максимальному накоплению пролина способствовала жаркая и сухая погода.

Установлено, что в оптимальные периоды вегетации устойчивые к засухе генотипы отличались высоким содержанием в листьях фенольных соединений, а неустойчивые – повышенным содержанием пролина.

Выявлены различия в реакции изучаемых генотипов садовых роз на стрессовые условия, вызванные засухой. Показано, что засухоустойчивые генотипы, *R. hugonis* и сорт Борисфен, обладают большей способностью адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды, увеличивая синтез низкомолекулярных антиоксидантов в ответ на стресс.

Установлены особенности адаптации к засушливым условиям: увеличение содержания флавоноидов, аскорбиновой кислоты, пролина и минимальное уменьшение суммарного содержания фенольных соединений.

Высокие концентрации фенольных соединений и в частности флавоноидов в листьях изучаемых генотипов в условиях засухи являются признаками засухоустойчивости, что позволяет использовать их в качестве маркеров устойчивости к засухе для генотипов рода *Rosa*.

Благодарности / Acknowledgements

Исследования выполнены в рамках госзадания Министерства образования и науки Российской Федерации FNNS-2022-0002 на оборудовании ЦКП «Физиолого-биохимические исследования растительных объектов» (ФБИ РО) ФГБУН «НБС-ННЦ».

Литература / References

Булатов А.В., Фалькова М.Т., Пушина М.О., Москвин Л.Н., Алексеева Г.М. Спектрофотометрическое определение флавоноидов в лекарственном растительном сырье // Аналитика и контроль. 2012. Т. 16, № 4. С 358-362.

[Bulatov A.V., Falkova M.T., Pushina M.O., Moskvina L.N., Alekseeva G.M. Spectrophotometric determination of flavonoids in medicinal plant materials. Russia. *Analytics and control*. 2012. 16 (4): 358-362.]

Гержикова В.Г. Методы технокимического контроля в виноделии. Симферополь: Таврида, 2002. 259 с.

[Gerzhikova V.G. Methods of technochemical control in winemaking. Simferopol: Tavrida, 2002. 259 p.]

Ефимов В.В., Володин Е.М., Анисимов А.Е. Моделирование изменений климата в Черноморском регионе в XXI столетии // Морской гидрофизический журнал. 2015. Т. 182, № 2. С. 3-14.

[Efimov V.V., Volodin E.M., Anisimov A.E. Modeling of climate change in the Black Sea region in the 21st century. Russia. *Russian Marine Hydrophysical Journal*. 2015. 182 (2): 3-14.]

Плугатарь С.А. К вопросу культивирования и использования в озеленении роз из разных садовых групп на южном берегу Крыма // Сборник научных трудов ГНБС. 2017. Том. 145. С. 205-213.

[Plugatar S.A. On the issue of cultivation and use in landscaping of roses from different garden groups on the southern coast of Crimea. Russia. *Collection of scientific works of SNBG*. 2017. 145: 205-213.]

Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П., Ильницкий О.А. Экологический мониторинг Южного берега Крыма. Симферополь: ИТ Ариал, 2015. 161с.

[Plugatar Yu.V., Korsakova S.P., Ilitsky O.A. Environmental monitoring of the Southern Coast of the Crimea. Simferopol: PH "Ariall", 2015. 161 p.]

Радюкина Н.Л., Шашукова А.В., Шевякова Н.И., Кузнецов В.В. Участие пролина в системе антиоксидантной защиты у шалфея при действии NaCl и параквата // Физиология растений. 2008. Т. 55. № 5. С. 721-730.

[Radyukina N.L., Shashukova A.V., Shevyakova N.I., Kuznetsov V.V. Proline involvement in the common sage antioxidant system in the presence of NaCl and paraquat. Russia. *Russian Journal Plant Physiol*. 2008. 55 (5): 721-730.]

Рихтер А.А. Использование в селекции взаимосвязей биохимических признаков // Труды Гос. Никитск. ботан. сада. 1999. Т. 108. С. 121-129.

[Richter A.A. Use of biochemical traits relationships in selection. Russia. *Proceedings of the State Nikitsky Botanical Garden*. 1999. 108: 121-129.]

Физиологические и биофизические методы в селекции плодовых культур / под ред. А.И. Лищука. М: ВАСХНИЛ, 1991. 66 с.

[Physiological and biophysical methods in fruit crops breeding / edited by A.I. Lishchuk. Moscow: AUAASNL, 1991. 66 p.]

Шихалеева Г.Н., Будняк А.К., Шихалеев И.И., Иващенко О.Л. Модифицированная методика определения пролина в растительных объектах // Вестник Харьковского национального университета. 2014. Вып. 21, № 112. С. 168-172.

[*Shikhaleeva G.N., Budnyak A.K., Shikhaleev I.I., Ivaschenko O.L.* Modified method for determining proline in plant objects. *Bulletin of Kharkiv National University*. 2014. 21 (112): 168-172.]

Akram N.A., Shafiq F., Ashraf M. Ascorbic acid-a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance // *Front. Plant Sci*. 2017. Vol. 8. P.613-626.

Albergaria T., Oliveira A.F.M. The effect of water deficit stress on the composition of phenolic compounds in medicinal plants // *South African J. Bot*. 2020. Vol. 131. P. 12-17.

Anjum S.A.; Tanveer M., Ashraf U., Hussain S., Shahzad B., Khan I., Wang L. Effect of progressive drought stress on growth, leaf gas exchange, and antioxidant production in two maize cultivars // *Environ. Sci. Pollut. Res*. 2016. Vol. 23. P. 17132–17141.

Bandurska H., Józwiak W. A comparison of the effects of drought on proline accumulation and peroxidases activity in leaves of *Festuca rubra* (L.) and *Lolium perenne* (L.) // *Acta Soc. Bot. Pol*. 2010. Vol. 79. P. 111-116. DOI:10.5586/asbp.2010.015

Bartoli C.G., Yu, J., Gómez F., Fernández L., McIntosh L., Foyer C.H. Interrelationships between light and respiration in the control of ascorbic acid synthesis and accumulation in *Arabidopsis thaliana* leaves // *J. Exp. Bot*. 2006. Vol. 57. P. 1621-1631.

Cruz de Carvalho M.H. Drought stress and reactive oxygen species // *Plant Signal Behav*. 2008. Vol. 3. P. 156-165. DOI: 10.4161/psb.3.3.5536

Dumanović J, Nepovimova E, Natić M, Kuća K, Jačević V. The significance of reactive oxygen species and antioxidant defense system in plants: A concise overview // *Front Plant Sci*. 2021. Vol. 11. P. 1-13. Doi: 10.3389/fpls.2020.552969

Grebennikova O., Pilkevich R., Gubanova T., Plugatar S. Physiological and biochemical parameters of drought tolerance of some genotypes of garden roses // *BIO Web of Conferences*. 2023. Vol. 67. DOI: 10.1051/bioconf/20236702014

Hernández I., Alegre L., Munné-Bosch S. Drought-induced changes in flavonoids and other low molecular weight antioxidants in *Cistus clusii* grown under Mediterranean field conditions // *Tree Physiology*. 2004. Vol. 24 (11). P. 1303-1311. DOI: 10.1093/treephys/24.11.1303

Hayat S., Hayat Q., Alyemeni V.N., Wani A.S., Pichtel J., Ahmad A. Role of proline under changing environments // *Plant Signal Behav*. 2012. Vol. 7 (11). P. 1456-1466. Doi: 10.4161/psb.21949

Man D., Bao Y.X., Han L.B., Zhang X. Drought tolerance associated with proline and hormone metabolism in two tall fescue cultivars // *HortScience*. 2011. Vol. 46 (7). P. 1027-1032.

Quan N.T., Anh L.H., Khang D.T., Tuyen P.T., Toan N.P., Minh T.N., Minh L.T., Bach D.T., Ha P.T.T., Elzaawely A.A., Khanh T.D, Trung K.H., Xuan T.D. Involvement of secondary metabolites in response to drought stress of rice *Oryza sativa* (L.) // *Agriculture*. 2016. Vol. 6. P. 23-36. DOI:10.3390/agriculture6020023

Radyukina N.L., Mikheeva L.E., Karbysheva E.A. Low molecular weight antioxidants in cyanobacteria and plant cells // *Biology bulletin reviews*. 2019. Vol. 9 (6). P. 520-531.

Saed-Moucheshi A., Shekoofa A., Pessarakli M. Reactive oxygen species (ROS) generation and detoxifying in plants // J. Plant Nutrition. 2014. Vol. 37 (10). P. 1573-1585. DOI: 10.1080/01904167.2013.868483.

Sarrou E., Chatzopoulou P., Therios I., Dimassi-Theriou K. Effect of drought and salinity on volatile organic compounds and other secondary metabolites of *Citrus aurantium* leaves // Nat. Prod. Commun. Vol. 12 (2) 2017. P. 193-196.

Grebennikova O.A., Plugatar S.A. Use of biochemical indicators to identify resistant to drought garden roses genotypes // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. 2025. № 1 (174). P. 53-63

The content of the some low molecular weight antioxidants in the leaves of number genotypes of the genus *Rosa* with varying degrees of drought resistance in optimal periods of vegetation and during drought exposure has been established. The content of phenolic substances was determined by the spectrophotometric method using the Folin-Ciocalteu reagent, flavonoids – spectrophotometrically using the reaction of formation of their complexes with aluminum ions, proline – according to the modified Chinard method using the ninhydrin reagent, ascorbic acid – by iodometric titration, water – by the gravimetric method. Over the course of three years of research, the concentration of the phenolic compounds sum and flavonoids in the leaves of individual genotypes differed insignificantly during certain periods of vegetation, while the content of ascorbic acid was more significant. The most variable indicator was the concentration of proline, the value of which depended on the specific weather conditions of each year. In during optimal periods of vegetation, drought-resistant genotypes were distinguished by a high content of phenolic compounds in leaves, while non-resistant ones had an increased content of proline was established. Differences in the response of the studied genotypes of garden roses to stress conditions caused by drought were revealed. Drought-resistant genotypes, *R. hugonis* and the ‘Borisfen’ cv., were shown to have a greater ability to adapt to changing environmental conditions, increasing the synthesis of low-molecular antioxidants in response to stress. Features of adaptation to drought conditions were established: an increase in the content of flavonoids, ascorbic acid, proline and a minimal decrease in the total content of phenolic compounds. High concentrations of phenolic compounds and, in particular, flavonoids in the leaves of the studied genotypes during drought are signs of drought resistance, which allows them to be used as markers of drought resistance for genotypes of the genus *Rosa*.

Key words: low molecular weight antioxidants; phenolic compounds; flavonoids; ascorbic acid; proline; *Rosa* L.; drought resistance