

ПЛОДОВОДСТВО И ЯГОДОВОДСТВО ЗА РУБЕЖОМ

УДК [634.22+634.711]:581.192

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ В ОЦЕНКЕ СЕЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПЛОДОВЫХ И ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР*

М. А. ПОДГАЕЦКИЙ, С. Н. ЕВДОКИМЕНКО

ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства»,
ул. Загорьевская, 4, г. Москва, 115598, Россия,
e-mail: vstisp@vstisp.org

АННОТАЦИЯ

Проведена оценка образцов сливы и малины биохимическими методами с целью выявления связей между содержанием биологически активных веществ и уровнем адаптации. Работа выполнялась в 2022–2024 гг. в лаборатории аналитической биохимии и физиологии сельскохозяйственных растений ФГБНУ ФНЦ Садоводства. Объектами исследования были вегетативные и генеративные органы сливы домашней (*Prunus domestica* L.), терна (*Prunus spinosa* L.) и малины красной (*Rubus idaeus* L.). Установлено, что повышенное содержание фотосинтетических пигментов и кальция в коре черенков сливы могут являться маркерными признаками высокой зимостойкости генотипа. Наличие веществ, обладающих антимикробным действием, повышенное накопление магния, серы, кальция и цинка в составе кутикулярного воска плодов могут быть биохимическими маркерами устойчивости к *Monilia fructigena* с вероятностью до 39 %. Выявлена сильная отрицательная корреляция ($r = -0,94$) между степенью зимних повреждений и накоплением фенольных соединений в побегах малины и средняя положительная связь с содержанием альдегида 2-Гептанола ($r = 0,55$). Результаты свидетельствуют о возможности отбора генотипов на ранних стадиях онтогенеза.

Ключевые слова: слива, малина, зимостойкость, фотосинтетические пигменты, фенольные соединения, ароматические соединения, макроэлементы, микроэлементы.

ВВЕДЕНИЕ

В селекции плодовых и ягодных культур приоритетными по-прежнему являются традиционные методы исследований [1]. Однако большим недостатком таких методов является длительность процесса, связанного прежде всего с продолжительным ювенильным периодом садовых культур [2, 3], поэтому важное значение в селекционном процессе имеет его ускорение. Разработка, совершенствование и внедрение методов предварительного скрининга большого количества селекционного материала позволит на ранних стадиях онтогенеза выделять перспективные источники хозяйственно ценных признаков [4, 5].

Многие исследователи на разных культурах изучали вопрос сокращения периода получения генотипов с высоким проявлением хозяйственно ценных признаков [6]. Так, выращивание растений в условиях защищенного грунта или с использованием фитотронов, где возможно регулирование температурного и светового режимов, позволяет ускорить прохождение фенологических фаз и тем самым сократить длительность жизненного цикла растений [7].

* Работа выполнена в рамках реализации государственного задания ФГБНУ ФНЦ Садоводства FGUW-2022-0008 «Изучение генетических ресурсов растений инновационными методами аналитической биохимии и физиологии для ускорения селекционного процесса при создании адаптивных форм, гибридов и сортов садовых культур».

Метод маркерной селекции позволяет уже в селекционной школке вести отбор ценных генотипов – носителей желаемого признака, что значительно сокращает селекционный процесс [8, 9].

В последнее время особое внимание уделяется метаболомному составу, который имеет большое экологическое и физиологическое значение в развитии растений. Фенольные соединения вносят значительный вклад в устойчивость к вредителям, патогенам и экологическому стрессу [10], поэтому могут быть использованы как биохимические маркеры в поиске генотипов с заданными параметрами на ранних стадиях жизненного цикла.

В связи с этим целью исследований являлось выявление зависимостей между содержанием биологически активных веществ и уровнем хозяйственно ценных признаков у садовых культур.

ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнялась в 2022–2024 гг. в лаборатории аналитической биохимии и физиологии сельскохозяйственных растений ФГБНУ ФНЦ Садоводства. Для поиска зависимости зимостойкости от накопления биохимических веществ в изучение были включены черенки сливы домашней (*Prunus domestica* L.) различных по зимостойкости генотипов. Так, согласно многолетним полевым наблюдениям, сорт Теньковская Голубка отличается высокой устойчивостью к зимним повреждающим факторам, а сорта Яхонтовая, Величаявая и Опал – низкой.

Биохимические исследования черенков сортообразцов сливы проводили непосредственно перед промораживанием (контроль) (декабрь 2022 г.) и после промораживания в контролируемых условиях по каждому компоненту зимостойкости (декабрь 2022 г.; январь – апрель 2023 г.). Моделирование зимних температурных факторов проводилось в климатической камере тепла и холода EW1070 по методическим указаниям [11].

Апробация биохимического метода оценки генотипов сливы по устойчивости к монилиозу (*Monilia fructigena*) проводилась на генотипах с известной степенью полевой устойчивости: Гигант Каширы, Желтая Поздняя (восприимчивые), Ода, Stanley, а также терн (*Prunus spinosa* L.) (устойчивые).

Для выявления зависимости зимостойкости малины красной (*Rubus idaeus* L.) от содержания биохимических веществ в изучение были включены генотипы с разной степенью устойчивости к зимним повреждающим факторам: Гусар, Метеор, Пересвет, Иван Купала, Бальзам, Улыбка, Скромница, № 6-12-3, 2-90-3, 8-6-3 (зимостойкие) и Лавина, Glen Ample, Glen Magna, Tadmor, Chemainus (слабозимостойкие). Биохимический анализ выполнялся в побегах и листьях в фазы активного роста (май) и конца роста побегов (октябрь).

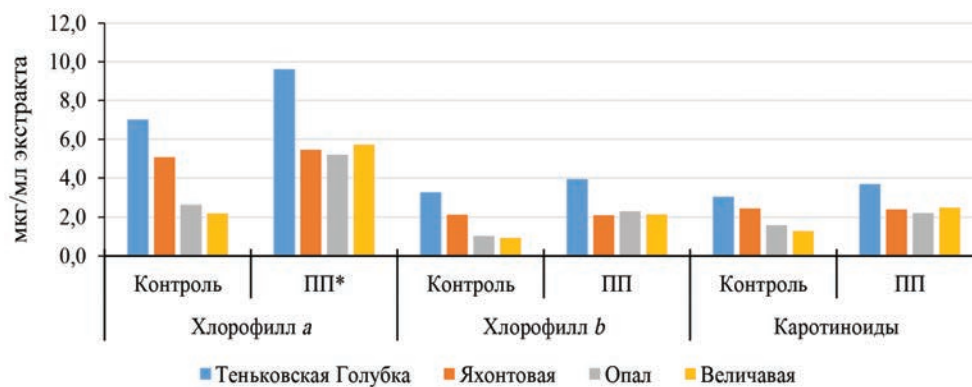
Исследования по содержанию химических веществ проводили в трехкратной повторности. Определение фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов) проводили на спектрофотометре Helios Gamma методом масс-спектрометрического анализа согласно учебному пособию «Масс-спектрометрия в органической химии» [12]; сумму фенольных соединений – с реактивом Фолина – Чокальтеу с учетом «Практикума по физиологии растений» [13]. Зольный состав (Mg, Si, S, Ca, Cu, Zn, Mo) определяли методом энергодисперсионной спектроскопии [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Определение фотосинтетических пигментов и зольного состава в коре однолетних черенков сливы домашней (*Prunus domestica* L.) у генотипов различной степени зимостойкости. Известно, что фотосинтетические пигменты играют протекторную роль в защите от стрессовых ситуаций [15]. В условиях низкотемпературного стресса они могут выполнять антиоксидантные функции [16].

Установлено, что в исследуемых образцах у всех генотипов из фотосинтетических пигментов преобладал хлорофилл *a* как в контрольном варианте, так и после проведения промораживания (рис. 1). Содержание хлорофилла *b* и каротиноидов было значительно меньше, но на относительно равном уровне.

Среди сортов сливы наибольшим накоплением пигментов отмечен зимостойкий сорт Теньковская Голубка. Содержание хлорофиллов *a* и *b* у него было в 1,8 раза выше, чем у менее зимостойких сортов, а каротиноидов – в 1,5 раза.



* После проведения промораживания.

Рис. 1. Содержание фотосинтетических пигментов в коре черенков сливы до и после промораживания в контролируемых условиях

После проведения промораживания у всех сортов отмечается увеличение всех фотосинтетических пигментов в среднем в 1,6 раза, при этом лидером по содержанию остается зимостойкий сорт Теньковская Голубка. Содержание хлорофилла *a* у него увеличилось до 9,611 мкг/мл, хлорофилла *b* – до 3,937 мкг/мл, а каротиноидов – 3,678 мкг/мл.

Таким образом, повышенное содержание фотосинтетических пигментов в коре черенков сливы как в конце вегетации, так и при выходе из покоя может свидетельствовать о ее высокой зимостойкости.

При анализе содержания макроэлементов в коре исследуемых сортов отмечено, что все сорта накапливали значительное количество калия (10,11–11,41 мас.%) и кальция (8,84–12,84 мас.%). Однако в процессе промораживания содержание этих элементов снижалось (рис. 2).

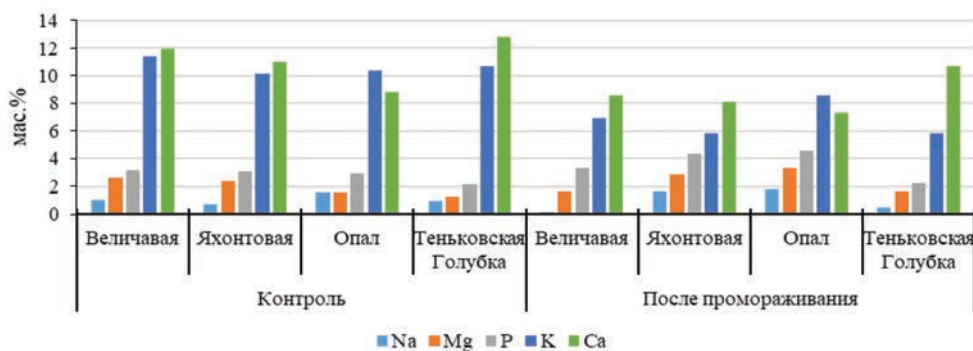


Рис. 2. Содержание макроэлементов в коре черенков сливы до и после промораживания в контролируемых условиях

Калий регулирует вязкость цитоплазмы клеток, что повышает устойчивость растений к низким температурам [17]. У всех изучаемых генотипов перед проведением промораживания содержалось более 10 мас.% этого элемента. После промораживания отмечено его снижение в среднем по сортам в 1,61 раза. Наименьшая разница отмечена у слабовзимостойкого сорта Опал (на 1,84 мас.%), а наибольшая – у зимостойкого сорта Теньковская Голубка (на 4,84 мас.%), что может свидетельствовать о реакции генотипа на стресс.

Катионы кальция являются наиболее важными элементами в системе внутриклеточной сигнализации растений [18]. Среди всех генотипов в контрольном варианте минимальное содержание Ca отмечено у сорта Опал (8,84 мас.%), но потери после промораживания оказались

незначительными (1,53 мас.%). Существенная разница была у сорта Величавая (на 3,4 мас.%). У зимостойкого сорта Теньковская Голубка после проведения промораживания содержание этого элемента осталось на достаточно высоком уровне (10,73 мас.%).

Таким образом, повышенное содержание кальция в однолетних побегах сливы свидетельствует о высокой зимостойкости. Кроме того, расход калия в процессе воздействия на растения отрицательных температур может сигнализировать о защитной реакции организма.

2. Изучение биохимического состава кутикулы плодов *Prunus L.* у сортообразцов разной степени восприимчивости к *Monilia fructigena*. Целью исследования было изучение особенностей кутикулы плодов сортов и видов сливы для выявления биохимических маркеров устойчивости к монилиозу (*Monilia fructigena*).

Установлено, что морфологически характер кутикулярного воска плодов сильно различается. На поверхности восприимчивых к монилиозу сортов были обнаружены колонии микроорганизмов, развитие которых сопровождается постепенным растворением воска. Были проведены биохимические исследования, выявившие различия в составе экстракта кутикулярного воска у изучаемых сортов.

Всего было идентифицировано 27 метаболитов, преимущественно углеводов. Анализ их содержания позволил выявить значительные сортовые различия. Так, среднее накопление октадекановой кислоты в кутикуле восприимчивых сортов (Гигант Каширы и Желтая Поздняя) было в 50–60 раз меньше, чем в кутикуле устойчивых. Кроме того, в состав кутикулярного воска устойчивых к монилиозу сортов преимущественно входят 2-гидроксипентандиовая (яблочная), декановая (каприновая), эйкозановая, октадекановая кислоты, октадекан, додекан, гексадекан, D-маннитол, тетракозанол, сорбитол и метил- α -D-глюкопиранозид.

Известно, что химические элементы являются кофакторами ферментов и могут индуцировать синтез биологически активных веществ, в том числе и тех, которые обладают антибактериальным действием [19]. Наибольшее накопление всех элементов было в пределах 5,540–8,784 мас.% (табл. 1). Сюда вошли устойчивые сорта Ода, Stanley и терн, а также восприимчивый сорт Гигант Каширы.

Таблица 1. Зольный состав кожицы плодов сортов сливы и терна, мас.%

Элементы	Желтая Поздняя	Терн	Гигант Каширы	Ода	Stanley
Mg	0,951	1,513	1,824	2,604	1,820
Si	0,293	0,142	0,134	0,174	0,226
S	0,134	0,182	0,176	0,226	0,313
Ca	1,872	2,598	1,726	3,856	1,442
Cu	0,172	0,244	0,174	0,174	0,308
Zn	0,136	0,106	0,024	0,498	0,226
Mo	1,196	1,078	1,482	1,252	3,082
Сумма	4,754	5,863	5,540	8,784	7,417

Корреляционный анализ зависимости восприимчивости к монилиозу от накопления макро- и микроэлементов выявил среднюю отрицательную сопряженность от содержания магния ($r = -0,539$), серы ($r = -0,496$), кальция ($r = -0,623$) и цинка ($r = -0,584$).

Группировка генотипов сливы по восприимчивости плодов к монилиозу в зависимости от содержания магния позволила разделить генотипы на 2 группы при достоверности аппроксимации 29,1 % (рис. 3). Первую группу составили восприимчивые к патогену сорта Желтая Поздняя и Гигант Каширы. Несмотря на то, что они находятся на равноудаленном расстоянии от центра кластера (красный маркер на рисунке), сорт Гигант Каширы отличается высоким накоплением магния (1,824 мас.%). Во вторую группу вошли устойчивые генотипы: сорт Stanley и терн. Сорт Ода, отличающийся высокой устойчивостью к патогену, не вошел ни в одну из групп, но содержал более 2,5 мас.% Mg.

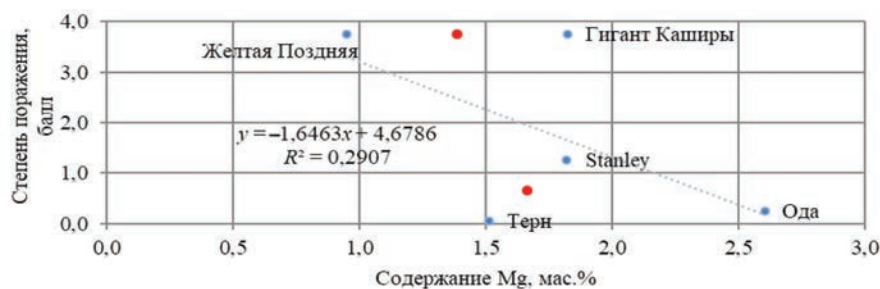


Рис. 3. Группировка генотипов сливы по восприимчивости плодов к монилиозу в зависимости от содержания магния

Анализ зависимости восприимчивости плодов сливы к монилиозу от содержания серы также разделил генотипы на 2 группы (рис. 4). В этом случае в группу устойчивых сортов вошли терн и сорт сливы Ода. Устойчивый сорт Stanley с наибольшим накоплением серы оказался на значительном расстоянии от центра кластера. Вторую группу составили восприимчивые сорта, при этом достоверность аппроксимации составила 24,6 %.

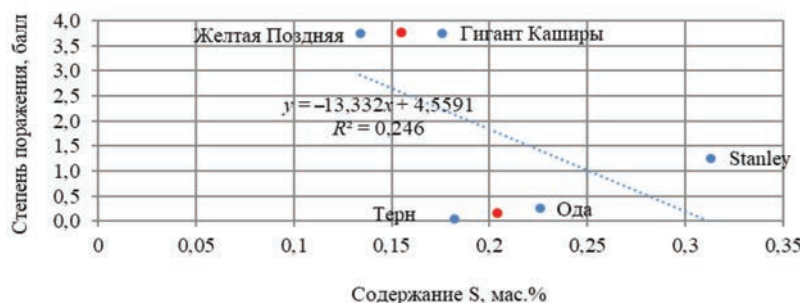


Рис. 4. Группировка генотипов сливы по восприимчивости плодов к монилиозу в зависимости от содержания серы

Наибольшая зависимость восприимчивости плодов сливы к монилиозу была с кальцием ($r = -0,623$), однако кластерный анализ позволил выделить только одну группу, в которую вошли восприимчивые сорта (рис. 5). Устойчивые генотипы не имели общей координаты, но находились при этом на большом расстоянии от группы неустойчивых. При этом прослеживалась явная граница между генотипами по накоплению кальция. Исключение составил сорт Stanley, у которого было самое низкое содержание элемента, поэтому отбор устойчивых генотипов возможно проводить с вероятностью 38,8 %.

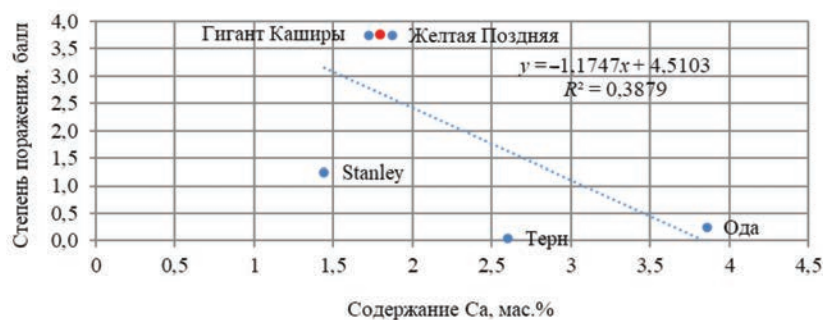


Рис. 5. Группировка генотипов сливы по восприимчивости плодов к монилиозу в зависимости от содержания кальция

Аналогичная ситуация прослеживается при анализе зависимости восприимчивости генотипов сливы к монилиозу от содержания цинка (рис. 6). Устойчивые генотипы не образовали от-

дельной группы, но находились на довольно большом расстоянии от группы восприимчивых сортов. Результаты показывают, что вести отбор устойчивых к монилиозу форм по накоплению цинка в кутикуле плодов возможно с долей вероятности 34 %.

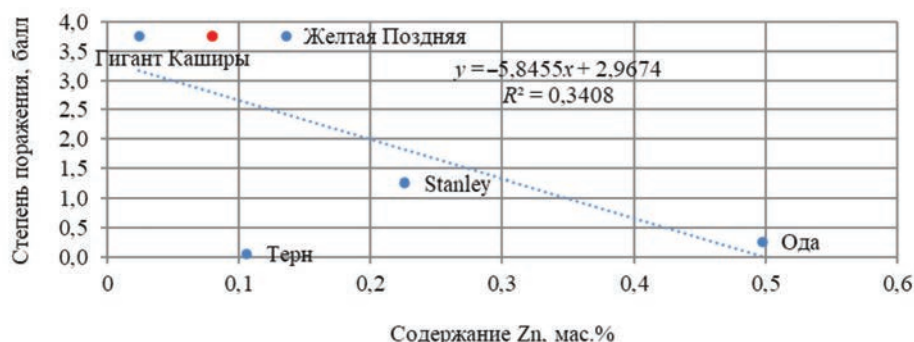


Рис. 6. Группировка генотипов сливы по восприимчивости плодов к монилиозу в зависимости от содержания цинка

Таким образом, наличие веществ, обладающих антимикробным действием, а также повышенное накопление магния, серы, кальция и цинка в составе кутикулярного воска плодов позволяет предположить, с долей вероятности до 39 %, что эти вещества могут быть биохимическими маркерами устойчивости к патогену.

3. Определение фенольных соединений в побегах и ароматических веществ в листьях малины (*Rubus idaeus* L.) у генотипов с разной степенью зимостойкости. В побегах зимостойких сортов на раннем этапе развития содержится в 1,8 раза меньше фенольных соединений, чем у менее зимостойких (табл. 2). Однако к концу вегетации (октябрь) наблюдается резкое увеличение изучаемого показателя у группы зимостойких сортов до 9,610 мг/г. У слабоморозостойких генотипов также отмечен рост показателя, но не такой интенсивный. Средний показатель по генотипам составил 7,855 мг/г.

Таблица 2. Сумма фенольных соединений в побегах малины в динамике, мг-экв. галл. кисл./г сырой навески

Сорт	Май	Октябрь
Зимостойкие		
Гусар	1,673	9,195
Метеор	1,935	9,803
Пересвет	1,778	9,833
Среднее по сортам	1,795	9,610
min	1,673	9,195
max	1,935	9,833
Незимостойкие		
Glen Ample	3,463	8,633
Glen Magna	2,745	6,878
Tadmor	3,270	7,388
Chemeinus	3,675	8,520
Среднее по сортам	3,288	7,855
min	2,745	6,878
max	3,675	8,633

Корреляционный анализ зависимости степени зимних повреждений от накопления фенольных соединений в побегах малины показал сильную обратную зависимость ($r = -0,94$). Кластерный анализ позволил разделить генотипы на 3 группы (красный маркер на рис. 7). Первую группу составили зимостойкие сорта: Гусар, Метеор, Пересвет. Незимостойкие генотипы разделились на 2 группы. Chemeinus и Glen Ample составили первую группу, а Glen Magna и Tadmor – вторую. При этом достоверность аппроксимации составила 88,4 %.

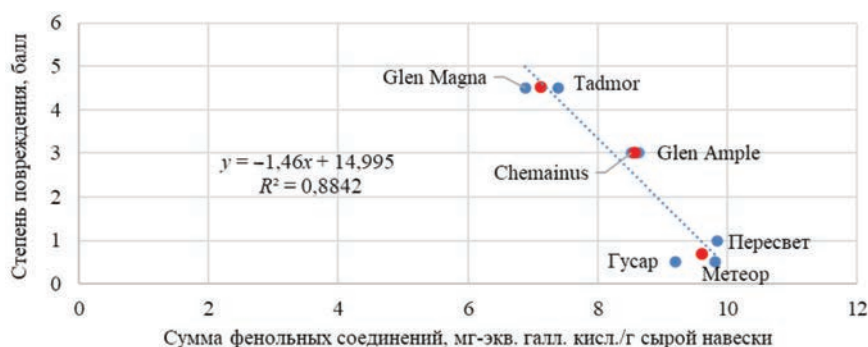


Рис. 7. Группировка генотипов малины по степени зимних повреждений в зависимости от содержания фенольных соединений в побегах

Таким образом, повышенное содержание фенольных соединений в побегах малины к концу вегетации может свидетельствовать о высокой зимостойкости генотипа.

В растениях малины было идентифицировано 35 душистых соединений классов монотерпены, альдегиды, спирты, алканы, кетоны и эфиры (рис. 8).

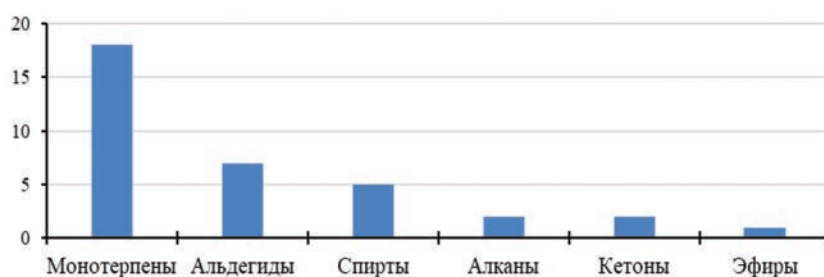


Рис. 8. Количество идентифицированных душистых соединений в листьях малины, шт.

Был проведен корреляционный анализ между содержанием летучих соединений и уровнем зимостойкости малины. Обнаруженные вещества были разбиты на классы, каждый из которых анализировался отдельно. В результате не установлено явных зависимостей.

Анализ с каждым веществом по отдельности позволил установить средние положительные связи степени зимних повреждений от содержания 2-Гептанала ($r = 0,55$), β -пинена ($r = 0,49$) и метилсалицилата ($r = 0,43$). Среди остальных веществ существенных связей не обнаружено.

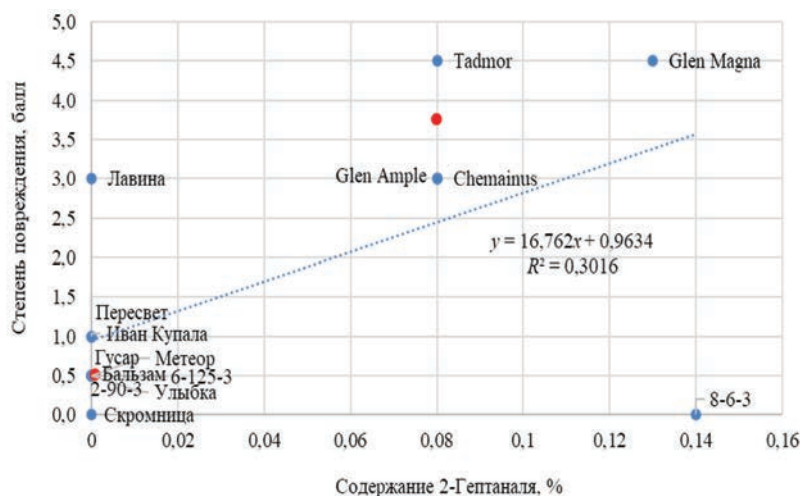


Рис. 9. Группировка генотипов малины по степени зимних повреждений в зависимости от содержания в листьях 2-Гептанала

Альдегиды в растениях отвечают за свежие «травянистые» запахи [20] и косвенно могут оказывать защитные реакции. Наличие альдегидов в вегетативных органах растений в конце вегетации препятствует затуханию физиологических процессов и прохождению закалки при подготовке к фазе биологического покоя. Анализ зависимости зимостойкости от содержания 2-Гептанола позволил выделить 2 кластера (красный маркер на рис. 9). В первый кластер вошли зимостойкие генотипы, во второй – слабозимостойкие. Однако во второй группе сорта Лавина и Glen Magna оказались на значительном удалении от центра кластера. В первую группу не вошел отбор № 8-6-3, отличающийся высокой зимостойкостью. Необходимо отметить, что разделение на группы происходит с вероятностью 30,2 %.

Анализ зависимости зимостойкости от содержания β -пинена и метилсалицилата не позволил разделить генотипы по зимостойкости с высокой долей вероятности.

Таким образом, среди изученных соединений имеется возможность выделить зимостойкие сеянцы на ранних стадиях онтогенеза при определении альдегида 2-Гептанола с вероятностью около 30 %.

ВЫВОДЫ

Повышенное содержание фотосинтетических пигментов и кальция в коре черенков сливы может являться маркерным признаком высокой зимостойкости генотипа. Кроме того, расход кальция в процессе перезимовки сигнализирует о защитной реакции организма.

Наличие веществ, обладающих антимикробным действием (2-гидроксипентандиовая (яблочная), декановая (каприновая), эйкозановая, октадекановая кислоты, октадекан, додекан, гексадекан, D-маннитол, тетракозанол, сорбитол и метил- α -D-глюкопиранозид), повышенное накопление магния, серы, кальция и цинка в составе кутикулярного воска плодов позволяет предположить, с долей вероятности до 39 %, что эти вещества могут быть биохимическими маркерами устойчивости к *Monilia fructigena*.

Повышенное содержание фенольных соединений в побегах наряду со снижением альдегида 2-Гептанола в листьях к концу вегетации малины являются маркерами высокой зимостойкости.

Результаты свидетельствуют о возможности отбора генотипов на ранних стадиях онтогенеза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Strategies for accelerating genetic gains in crop plants: special focus on speed breeding / S. Gudi, P. Kumar, S. Singh [et al.] // *Physiology and Molecular Biology of Plants*. – 2022. – № 28. – P. 1921–1938. – DOI: 10.1007/s12298-022-01247-8.
2. Алибеков, Т. Б. Этапы селекционного процесса плодовых культур / Т. Б. Алибеков // *Проблемы развития АПК региона*. – 2019. – № 2 (38). – С. 7–9.
3. Длительность селекционного процесса у яблони и пути его сокращения / Е. Н. Седов, С. А. Корнеева, Т. В. Янчук, З. М. Серова // *Садоводство и виноградарство*. – 2019. – № 4. – С. 5–9. – DOI: 10.31676/0235-2591-2019-4-5-9.
4. Conventional and molecular techniques from simple breeding to speed breeding in crop plants: recent advances and future outlook / S. Ahmar, R. A. Gill, K.-H. Jung [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2020. – № 21 (7). – P. 2590. – DOI: 10.3390/ijms21072590.
5. Impact of climate change and adaptation strategies for fruit crops / T. Sarkar, A. Roy, S. M. Choudhary, S. K. Sarkar // *India: Climate Change Impacts, Mitigation and Adaptation in Developing Countries* / ed.: Md. Nazrul Islam, A. van Amstel. – Cham, 2021. – P. 79–98. – DOI: 10.1007/978-3-030-67865-4_4.
6. Rane, P. Accelerated breeding cycles in perennial fruit crops: conventional methods and biotechnological advances / P. Rane, J. Prakash, A. Singh // *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. – 2025. – P. 1–18. – DOI: 10.1080/14620316.2025.2462664.
7. Begna, T. Speed breeding to accelerate crop improvement / T. Begna // *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*. – 2022. – № 8 (2). – P. 178–186. – DOI: 10.17352/2455-815X.000161.
8. Селекция черной смородины: методы, достижения, направления : моногр. / С. Д. Князев, Н. С. Левгерева, М. А. Макаркина [и др.]. – Орел : ВНИИСПК, 2016. – 328 с.
9. Khan, A. Breeding and genetics of disease resistance in temperate fruit trees: challenges and new opportunities / A. Khan, S. S. Korban // *Theoretical and Applied Genetics*. – 2022. – № 135. – P. 3961–3985. – DOI: 10.1007/s00122-022-04093-0.
10. Treutter, D. Managing phenol contents in crop plants by phytochemical farming and breeding – visions and constraints / D. Treutter // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2010. – № 11 (3). – P. 807–857. – DOI: 10.3390/ijms11030807.

11. Определение устойчивости плодовых и ягодных культур к стрессорам холодного времени года в полевых и контролируемых условиях / М. М. Тюрина, Г. А. Гоголева, Н. В. Ефимова [и др.] // Методические указания. – М., 2002. – 120 с.
12. Лебедев, А. Т. Масс-спектрометрия в органической химии / А. Т. Лебедев. – М. : ТЕХНОСФЕРА, 2015. – 204 с.
13. Третьяков, Н. Н. Практикум по физиологии растений / Н. Н. Третьяков, Л. А. Паничкин, М. Н. Кондратьев. – М. : Колос, 2003. – 288 с.
14. Мотылева, С. М. Методические рекомендации по выполнению анализа зольных элементов и минеральных включений в органах растений методом энергодисперсионной спектрометрии на аналитическом РЭМ-М / С. М. Мотылева ; ФГБНУ ВСТИСП. – Саратов : Амирит, 2018. – 40 с.
15. Антиоксидантный статус растений как инструмент исследования их устойчивости к антропогенному воздействию / Н. В. Гончарова, Ю. В. Жильцова, В. Ф. Ковалёв, С. С. Позняк // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2018. – С. 21–33.
16. Sinha, S. The omics of cold stress responses in plants / S. Sinha // Elucidation of abiotic stress signaling in plants / ed. G. K. Pandey. – New York, 2015. – P. 143–194.
17. Есмаганбетов, Е. С. Роль калия в земледелии / Е. С. Есмаганбетов, И. Ж. Муқан, Ю. Е. Ткаченко // Человеческий капитал как фактор инновационного развития общества : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, 2022. – С. 50–52.
18. Механизм функционирования кальциевой сигнальной системы у растений при действии теплового стресса. Роль митохондрий в этом процессе / Е. Г. Рихванов, И. В. Федосеева, Д. В. Пятрикас [и др.] // Физиология растений. – 2014. – Т. 61, № 2. – С. 155–155.
19. Химические элементы плодов голубики (*Vaccinium uliginosum* L.) семейства вересковые (Ericaceae Juss.) / А. И. Попов, С. Н. Кравченко, Ю. Н. Дементьев, А. Г. Кожура // СибСкрипт. – 2014. – Т. 1, № 2 (58). – С. 22–29.
20. Authentication of 'Adelita' raspberry cultivar based on physical properties / A. Valdés García, S. E. Maestre Pérez, M. Butsko [et al.] // Antioxidant Activity and Volatile Profile. Antioxidants. – 2020. – № 9 (7). – P. 593. – DOI: 10.3390/antiox9070593.

APPLICATION OF MODERN METHODS FOR THE EVALUATION OF FRUIT AND BERRY BREEDING MATERIAL

М. А. PODGAYETSKY, S. N. EVDOKIMENKO

Abstract

Biochemical methods were used to evaluate plum and raspberry samples in order to identify correlations between the content of biologically active compounds and the level of adaptability. The study was conducted in 2022–2024 at the Laboratory of Analytical Biochemistry and Physiology of Agricultural Plants of the Federal Research Center for Horticulture. The objects of research included vegetative and generative organs of European plum (*Prunus domestica* L.), blackthorn (*Prunus spinosa* L.), and red raspberry (*Rubus idaeus* L.). It was found that increased levels of photosynthetic pigments and calcium in plum cutting bark may serve as marker traits for high winter hardiness of a genotype. The presence of antimicrobial compounds and elevated accumulation of magnesium, sulfur, calcium, and zinc in the cuticular wax of fruits may serve as biochemical markers of resistance to *Monilia fructigena* with a probability of up to 39 %. A strong negative correlation ($r = -0.94$) was identified between the degree of winter damage and the accumulation of phenolic compounds in raspberry shoots, and a moderate positive correlation with the content of the aldehyde 2-heptanal ($r = 0.55$). The results support the feasibility of selecting genotypes for adaptability at early stages of ontogenesis.

Keywords: plum, raspberry, winter hardiness, photosynthetic pigments, phenolic compounds, aromatic compounds, macroelements, microelements.

Поступила в редакцию 10.04.2025