

АГРАРНАЯ РОССИЯ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

№ 6

2006

БИОХИМИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ ЧИТАЙТЕ В НОМЕРЕ:

<i>Конарев А. В.</i> Развитие биохимических и молекулярно-биологических исследований мирового генофонда растений в ВИР им. Н. И. Вавилова	2
<i>Конарев А. В.</i> Использование молекулярных маркеров в решении проблем генетических ресурсов растений и селекции.	4
<i>Ярош Н. П., Конарев А. В., Низова Г. К., Хорева В. И.</i> Вклад А. И. Ермакова в изучение генофонда культурных растений (к 100-летию со дня рождения)	23
<i>Шеленга Т. В., Леонова С. В., Конарев А. В., Лоскутов И. Г., Карлосон А., Стим С.</i> Характеристика дикорастущих видов овса из коллекции ВИР по содержанию, фракционному и жирнокислотному составу масла	26
<i>Хорева В. И., Курцева А. Ф.</i> Биохимическая характеристика сортов проса в связи с проблемой качества зерна	32
<i>Низова Г. К., Дубовская А. Г.</i> Биохимическое изучение ярового и озимого рапса из коллекции ВИР им. Н. И. Вавилова	37
<i>Стрельцина С. А., Юдкевич Е. В., Жукова М. А., Конарев А. В., Дзюбенко Н. И.</i> Анализ внутривидовой изменчивости люцерны посевной (<i>Medicago sativa</i> L.) по биохимическим признакам качества	41
<i>Стрельцина С. А., Юдкевич Е. В., Жукова М. А., Конарев А. В., Дзюбенко Н. И.</i> Биохимическая характеристика козлятника восточного (<i>Galega orientalis</i> Lam.)	46
<i>Соловьева А. Е., Артемьева А. М.</i> Биологически активные вещества капустных растений рода <i>Brassica</i> L.	52
<i>Соловьева А. Е., Артемьева А. М.</i> Качественная оценка некоторых культурных типов восточно-азиатского вида <i>Brassica rapa</i> L.	56
<i>Вишневецкая О. Е., Шаварда А. Л., Соловьева А. Е., Зверева О. А.</i> Исследование компонентного состава эфирного масла растений рода <i>Monarda</i> (<i>Lamiaceae</i>), культивируемых в условиях северо-западного региона	60
<i>Стрельцина С. А., Бурмистров Л. А.</i> Биохимический состав ирги ольхолистной (<i>Amerlanchier alnifolia</i> Nutt.) в условиях северо-запада Российской Федерации	63
<i>Стрельцина С. А., Сорокин А. А., Плеханова М. Н., Лобанова Е. В.</i> Состав биологически активных фенольных соединений сортов жимолости в условиях северо-западной зоны плодоводства РФ	67
Авторский указатель.	73
Указатель статей, опубликованных в 2006 г.	74

МОСКВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО "ФОЛИУМ"

АГРАРНАЯ РОССИЯ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

№6

2006

Главный редактор И. М. Долотовский

Редакционный совет Э. К. Бороздин (председатель совета)
А. А. Варламов
И. М. Дунин
В. А. Драгавцев

Ответственный за выпуск докт. биол. наук, профессор
А. В. Конарев

Информационная поддержка Департамент науки
и технического прогресса МСХ РФ

Адрес для переписки: 127238, Москва, а/я 42

Заведующая редакцией: Дроздова Вера Геннадьевна

Тел./факс: (495) 482-55-44, 482-55-90, 488-72-10

Интернет: <http://www.folium.ru>

E-mail: agros@folium.ru

Свидетельство о регистрации средств массовой информации
номер А-1878 от 31 января 2000 г.

Оформить подписку на журнал можно в любом отделении связи.
Подписной индекс в каталоге “Роспечать” № 79751 и Объединенном каталоге № 83106

Москва
Издательство “ФОЛИУМ”

РАЗВИТИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ И МОЛЕКУЛЯРНО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МИРОВОГО ГЕНОФОНДА РАСТЕНИЙ В ВИР им. Н. И. ВАВИЛОВА

А. В. Конарев

Обсуждаются проблемы значимости мирового генофонда растений ВИР для успешного развития фундаментальных и прикладных исследований в области биохимии и молекулярной биологии растений.

Прогресс в развитии фундаментальных исследований генетических ресурсов растений (ГРР) — гарантия успехов селекции и сельскохозяйственного производства. Научно обоснованные сбор и сохранение, фундаментальное изучение ГРР, разработка надежных методов анализа ГРР обеспечивают базу для реализации селекционных программ различных направлений и повышение эффективности сельскохозяйственного производства. На базе ВИР уже в течение более 100 лет формируется и развивается глобальная система сбора, сохранения, изучения, систематизации и паспортизации мировых ГРР. На примере становления биохимических и молекулярных исследований в ВИРе видно, как сама возможность осуществлять фундаментальные исследования на базе мирового генофонда создает необычайно благоприятные условия для их развития и создания эффективных методов исследований.

С момента своего основания ВИР являлся методологическим и методическим центром в области фундаментальных и прикладных проблем ГРР и растениеводства. Эта роль вытекала из его структуры и основных задач. Наличие мирового генофонда по большинству ведущих культур создает благоприятные условия для развития методологий, подходов, методов исследований генофонда — исходного и селекционного материала. Практически это было реализовано в развитии методов ботаники, генетики, цитологии, иммунологии, физиологии, биохимии, технологической оценки и других применительно к проблемам исходного и селекционного материалов.

Многие годы считалось, что основной задачей земледелия является увеличение производства с/х продукции. Принципиально ситуация стала изменяться лишь в последние десятилетия, когда развитые страны начали испытывать избыток продуктов питания, и фактор качества стал одним из решающих в конкурентности с/х продукции. Девиз конгресса европейских селекционеров и генетиков «ЕУКАРПИЯ» в 1989 г.: «Накормим население Земли высококачественными и натуральными (экологически чистыми и биологически безопасными) продуктами растениеводства».

Понятие «качество с/х продукции» включает питательные, кормовые и технологические достоинства соответствующей продукции растениеводства. Современные представления о качестве продукции растение-

водства, удовлетворяющем всеобщие потребности человека, основаны на фундаментальных знаниях в области биохимии, генетики, медицины и др. В последние годы эти представления претерпели значительные изменения. Существенно расширился круг химических соединений, представляющих важность для питания (в том числе лечебного и диетического), кормопроизводства, а также технических целей.

В СССР именно на ВИР с его генофондом были возложены задачи по разработке «новых путей» в области генетики, селекции, физиологии, биохимии, технологической оценки и др. (*План работы ВИР на 1931 г.*).

Основополагающую роль в постановке и разработке биохимических проблем качества урожая сыграл проф. Н. Н. Иванов (1884 – 1940), друг и соратник Н. И. Вавилова, основоположник биохимии культурных растений как науки. Н. Н. Иванов организовал в ВИР работу по разработке методов физиологии и биохимии растений и биохимической оценке мировых ГРР с целью их более эффективного использования для улучшения сортов по признакам качества (1922 – 1940 гг.).

Для решения поставленных задач Н. Н. Иванов собрал вокруг себя работоспособный коллектив биохимиков, который впоследствии вырос в известную в стране и в мире школу биохимиков растений ВИР. Яркими представителями этой школы были известные биохимики М. И. Княгиничев, В. В. Арасимович, А. И. Ермаков, М. И. Смирнова-Иконникова, И. К. Мурри и др.

В соответствии с замыслами Н. И. Вавилова и Н. Н. Иванова со дня своего образования биохимики ВИР занимаются изучением генетического разнообразия генофонда растений по биохимическим признакам качества, а также разработкой эффективных методов анализа генофонда растений и селекционного материала. В отличие от общей биохимии растений биохимия культурных растений сосредотачивает внимание только на значимых для формирования качества урожая признаках.

Исследования, выполненные Н. Н. Ивановым и руководимым им отделом на мировых коллекциях, позволили не только установить ряд фундаментальных закономерностей изменчивости содержания и состава важнейших соединений у растений, но имели также большое значение для селекции, нацеленной на повышение качества продукции растениеводства.

Многолетние работы Н. Н. Иванова и его учеников подытожены в семи томах “Биохимия культурных растений”, вышедших в 1936 – 1940 гг. Издание, продолженное и в последующие годы, явилось уникальным, до сих пор непревзойденным в мире справочником по биохимии практически всех культивируемых в стране растений.

Н. Н. Иванов всегда придавал исключительное значение методам анализа, при этом особое внимание он уделял разработке биохимических методов, предназначенных как для исследований мирового генофонда растений, так и для использования в селекции. Только в отделе биохимии ВИР апробировали, внедряли и разрабатывали новые биохимические методы анализа для широкого круга культур растений.

Все методы, апробированные или разработанные коллективом отдела, были обобщены Н. Н. Ивановым в книге “Методы физиологии и биохимии растений”, выдержавшей за период 1929 – 1946 гг. четыре издания. Эта книга долгое время являлась лучшим пособием по биохимии растений. В доработанном последователями Н. Н. Иванова виде она была издана в 1952, 1972 и 1987 гг. и до настоящего времени служит настольной книгой биохимиков страны. В своем письме А. И. Ермакову акад. В. А. Энгельгардт, высоко оценивая достижения биохимиков ВИР в области развития методов исследований, особо отмечал уникальность стоящих перед ними задач.

Н. И. Вавилов и его соратники выполнили поставленную перед ними задачу. ВИР уже к концу 30-х годов прошлого века занимал лидирующие позиции в мире (и это было признано) по основным направлениям растениеводческой науки и, в частности, в области биохимии культурных растений.

По такой же логике в ВИР с 60-х годов под руководством В. Г. Конарева (аспирант Н. Н. Иванова) закладывались и развивались молекулярно-биологические исследования, которые всегда были ориентированы на решение важнейших теоретических и прикладных проблем сбора, изучения, сохранения и поддержания, а

также идентификации и паспортизации ГРП (1967 – 2006 гг.).

В. Г. Конарев и его ученики большое внимание всегда уделяли разработке эффективных биохимических и молекулярных методов для селекции, сортоиспытания, семеноводства и семенного контроля (в том числе и для образцов, сохраняемых в генных банках). Молекулярному маркированию как эффективному методическому подходу к познанию и управлению генетическими ресурсами растений было отдано предпочтение среди прочих (Конарев В. Г., 1968 – 1974). Ретроспективный анализ и анализ современной ситуации с развитием молекулярных маркерных методов в мире применительно к ГРП показывает, что избранная почти сорок лет назад ВИР стратегия полностью себя оправдала. Молекулярное маркирование зарекомендовало себя как эффективный инструмент для решения всех важнейших фундаментальных и прикладных задач, стоящих перед исследователями ГРП — от поиска нового генетического разнообразия, идентификации и паспортизации ГРП до охраны прав на него в ходе использования для улучшения сортов растений (Конарев В. Г. и др., 1969 – 2006).

Ставка на белковые маркеры обеспечила успехи как в разработке фундаментальных аспектов генетического разнообразия культурных растений и их диких сородичей, так и в решении ряда важнейших практических задач селекции, таких как сортовая идентификация, семеноводство и семенной контроль (см. статью А. В. Конарева в настоящем сборнике).

Предлагаемый сборник включает серию статей, обобщающих результаты работ, выполненных в последние годы в отделе биохимии и молекулярной биологии ВИР (до 1997 г. — самостоятельные отделы). Сборник является логическим продолжением изданий ВИР, посвященным биохимическим и молекулярно-биологическим аспектам изучения генетических ресурсов культивируемых растений и их дикорастущих сородичей, осуществлявшихся в течение многих лет в ВИР под руководством Н. Н. Иванова, А. И. Ермакова, В. Г. Конарева и др.

*Конарев А. В., докт. биол. наук, профессор,
Всероссийский НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ И СЕЛЕКЦИИ

А. В. Конарев

В статье обсуждается место ВИР им. Н. И. Вавилова как методологического и методического центра в области фундаментальных и прикладных проблем растениеводства. Эта роль исторически вытекает из его структуры и основных задач. Наличие мирового генофонда по большинству ведущих культур создает благоприятные условия для развития методологий, подходов и, как следствие, методов исследований генофонда — исходного и селекционного материала. Обсуждаются вопросы эффективности использования молекулярных маркеров (прежде всего белковых) для решения комплекса задач, стоящих перед исследователями мировых генетических ресурсов культивируемых растений и их дикорастущих сородичей.

Приведены сведения об основных достижениях ВИР в области фундаментальных и прикладных исследований генетических ресурсов растений, развитии методов селекции и семенного контроля с использованием молекулярного маркирования (белковых и ДНК-маркеров).

Мировые генетические ресурсы растений рассматриваются во всем мире как основной источник улучшения сельскохозяйственных культур на ближайшие десятилетия. Создание источников и доноров селекционно-важных признаков, т. е. организация предселекционной работы, в большинстве случаев базируется на мировых генетических ресурсах или коллекциях культивируемых растений и их диких сородичей. Раскрытие потенциала генетических ресурсов по основным биологическим и селекционным признакам обеспечивает генетическую базу для реализации селекционных программ различных направлений. Как заявил Б. Восман на Международной конференции по генетическим ресурсам растений (Кембридж, 2002), “наука о генетических ресурсах растений есть нечто много большее, чем сбор и сохранение внутри- и межвидового разнообразия. Сохранение имеет смысл только если собранное может быть описано. Характеристика есть общий подход, который предполагает оценку как фенотипа, так и генотипа, баланс между которыми резко меняется с широким внедрением маркерной технологии”.

Предселекционная работа включает все этапы работы с генофондом от сбора, поддержания и изучения до правовых аспектов авторства на доноры и источники ценных признаков. Чтобы служить эффективной базой для улучшения культур, сохраняемое в центрах генетических ресурсов растений (ГРР) и генных банках генетическое разнообразие должно быть не только тщательно и всесторонне изучено. Сами коллекции должны быть рационально организованы [7, 45]. Каждый образец коллекции должен быть идентифицирован и паспортизирован. Сохранение генетической целостности образцов также входит в разряд принципиальных проб-

лем. Речь идет о сохранении образца не только как такового, но с его ценными свойствами, в частности адаптивными и другими признаками.

Во Всероссийском НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова (ВИР) познание генетического разнообразия культурных растений и их дикорастущих сородичей, создание источников и доноров ценных для селекции свойств традиционно осуществляют с использованием комплекса методических подходов, на базе тесного взаимодействия кураторов культур и специалистов методических отделов (см. схему) [6 – 8]. Принципиальное преимущество такой системы оценки и создания исходного материала для селекции заключается в возможности достаточно глубокого и всестороннего изучения и использования максимального разнообразия культуры. В эффективности познания генофонда решающая роль принадлежит методам исследования.

С момента своего основания ВИР являлся методологическим и методическим центром в области фундаментальных и прикладных проблем растениеводства. Эта роль вытекает из его структуры и основных задач [6]. Наличие мирового генофонда по большинству ведущих культур создает благоприятные условия для

Молекулярная биология и биотехнология		Теоретические основы интродукции
Технологическая оценка	МИРОВЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РАСТЕНИЙ (Коллекции)	Прикладная ботаника
Биохимия растений		Прикладная генетика
Агрометеорология		Физиология растений
Семеноведение	Цитология	Иммунитет растений
Рациональная организация коллекций (структуризация генофонда, его идентификация, паспортизация, создание паспортных и оценочных баз данных)		

Вавиловская концепция познания растительного биоразнообразия на современном этапе

развития методологий, подходов и, как следствие, методов исследований генофонда — исходного и селекционного материалов. Практически это было реализовано в развитии методов генетики, иммунологии, физиологии, биохимии, технологической оценки применительно к проблемам исходного и селекционного материалов [6]. Именно по такой логике закладывались и развивались в ВИРе молекулярно-биологические исследования [11]. В основу всех методических подходов также положен охват всего доступного генетического разнообразия культуры, включая дикорастущих сородичей [7 – 14].

Развиваемые в ВИР молекулярно-биологические исследования ориентированы на решение теоретических и прикладных проблем интродукции, изучения, хранения, воспроизведения, а также идентификации, регистрации и паспортизации генетических ресурсов растений. Особое внимание уделяют разработке эффективных методов для использования в сортоиспытании, селекции, семеноводстве и семенном контроле.

Понятие “маркер” вошло в биологию довольно давно (маркер — метчик, в биохимии — фактор идентификации). В настоящее время это понятие используют довольно широко. Это может быть ген (или его аллель), наследование которого прослеживается в скрещивании. Он может определять конкретный фенотипический признак либо не определять признак, но быть сопряженным с его изменчивостью [5, 52]. В качестве молекулярных маркеров могут служить любые фрагменты ДНК, используемые для выявления полиморфизма [5]. На практике экспериментатор, как правило, имеет дело не с самим геном-маркером, а с его фенотипическим выражением — хорошо выраженным, дискретным, т.е. качественным признаком. Последний можно рассматривать как фактор идентификации соответствующего ему гена, т.е. как маркер гена, а также сцепленных с ним других генов. Надежным маркером служит белковый признак, поскольку белок — первичный продукт гена [8 – 12, 15, 17, 22, 25 – 27, 29, 31, 32, 36, 42].

Обычным является использование (и употребление термина “маркер”) белковых и ДНК-маркеров (далее молекулярные маркеры — ММ) для решения вопроса о наличии, отсутствии или состоянии той или иной генетической системы — гена, хромосомы (целой или ее части), генома. Компоненты белков — ферментов, запасных и других белков в электрофоретическом, изоэлектрическом, хроматографическом спектрах, а также сами эти спектры могут служить маркерами разных генетических систем, в том числе для выявления генетического полиморфизма по соответствующим локусам [1, 9, 12 – 14, 22, 25, 30, 35, 51]. Полиморфизм белков и ДНК широко применяют для идентификации и анализа генетической дифференциации биоразнообразия. В этом случае белковый или ДНК-спектр используют для маркирования генотипов по принципу “отпечатков пальцев” — *fingerprinting technique* [5, 9 – 12, 20, 23, 26, 27, 31, 36, 45]. Этот подход нашел широкое применение

для решения теоретических и прикладных проблем ГРР, селекции и семенного контроля (см. об этом ниже).

В биохимии на первых этапах маркирование опиралось на весь комплекс химических субстанций вплоть до веществ вторичного происхождения. Но наиболее перспективным оказался анализ макромолекул белков и нуклеиновых кислот. *Молекулярное маркирование основано на полиморфизме белков и нуклеиновых кислот* [58]. Полиморфизм обнаруживается физико-химическими методами при анализе не только белков и ДНК, но и масел, спиртов, органических кислот, веществ вторичного происхождения. Однако этот полиморфизм из-за ряда принципиальных ограничений не нашел широкого применения при решении фундаментальных проблем биологии. В числе таких ограничений — наличие многих промежуточных этапов на пути реализации информации от ее носителя до момента, например, синтеза жирных кислот либо фенольных соединений. Несомненное преимущество ДНК и белковых маркеров в том, что они ближе других субстанций стоят к носителю наследственной информации либо сами (как ДНК) ею являются. Как маркеры ДНК и белки характеризуются кодоминантным типом наследования (характерен не для всех ДНК-маркерных систем), отсутствием эффекта плейотропии [12].

Следующие свойства (по мнению ряда исследователей) желательны для ММ [14, 58]:

- высокий уровень полиморфизма;
- кодоминантный характер наследования;
- оптимальный уровень частоты встречаемости в геноме для решения конкретных задач;
- равномерное распределение в геноме по хромосомам;
- селективно нейтральное поведение;
- легкая оценка параметров маркера;
- возможность автоматизации и высокая воспроизводимость оценки параметров маркера;
- возможность легкого обмена данными между лабораториями.

Следует заметить, что не существует ММ, которые полностью соответствовали бы перечисленным требованиям либо укладывались бы в рамки строгой классификации. ММ также не являются инструментом, использование которого в изоляции от других подходов обеспечит успех в решении той или иной проблемы.

Обоснование использования полиморфизма запасных белков в качестве маркеров было дано во многих работах отечественных и зарубежных исследователей [7 – 17, 22, 25]. Показано, что полиморфизм по спектрам запасных белков (проламины злаков, глобулины двудольных и др.) обусловлен генетическими различиями по разному числу мультигенных семейств (у пшеницы шесть мультигенных семейств — Gli-локусы). Семейства генов запасных белков, ингибиторов протеаз возникли путем последовательных множественных дубликаций и дивергенции предковых генов внутри мультигенных семейств, а также их рекомбинаций. Принципиально важно существование множества ал-

лелей генов, что обуславливает возможность иметь для каждого генотипа характерную комбинацию аллелей генов, кодирующих белок (например, проламины), и, как следствие, уникальный компонентный состав белков. Обнаруживаемый полиморфизм по спектрам запасных белков, ингибиторов протеаз свидетельствует о различии сортов, биотипов по специфическим наборам аллельных комбинаций генов мультигенных семейств. Таким образом, выявляются генетическое разнообразие образцов (сортов) и их генетическая неоднородность. К разным аспектам обоснования использования белковых и ДНК-маркерных систем для решения конкретных задач мы еще вернемся.

В связи со все увеличивающимися возможностями биотехнологии (в частности, по переносу генов среди видов, родов и даже семейств) в последние годы дискутируются вопросы о роли генных банков и ГРП в новых условиях. Обсуждают возможную новую стратегию сбора, сохранения, изучения и использования ГРП для улучшения культивируемых растений. Подвергают сомнению необходимость сбора, сохранения и изучения всего имеющегося биоразнообразия, ставится вопрос о том, какие в этом случае типы гермоплазмы надо собирать, сохранять и в каком аспекте изучать. Отдельно обсуждают целесообразность сбора и сохранения *ex situ* генетического разнообразия, связанного с признаками устойчивости и качества в отрыве от среды обитания, и многие другие вопросы, вызванные достижениями и, главное, возможными перспективами в области молекулярной генетики и геномики. Последнюю рассматривают [5, 12, 34] как новое направление генетики, изучающее геном и индивидуальные гены на молекулярном уровне, в частности, изучение структуры генов (секвенирование, или анализ нуклеотидной последовательности), их экспрессию и механизмы регуляции активности генов, клонирование генов и их использование в генно-инженерных целях, в том числе для создания новых форм растений.

Анализ состава и структуры белковых продуктов (протеомика) — существенное дополнение и следующий этап структурной и особенно функциональной геномики. *Белки как продукты гена гораздо более многообразны в проявлениях своих свойств по сравнению с информацией о последовательности соответствующей ДНК и полиморфизме ее фрагментов* [1, 10, 12, 34]. *И в связи с этим с развитием тонких аналитических методов протеомики для белков как маркеров открываются исключительные возможности применения для характеристики самых разных по сложности физиологических и генетических систем.*

При всех очевидных успехах и перспективах получения новых, ценных для практики трансгенных форм мировые ГРП продолжают оставаться основными источниками для улучшения сельскохозяйственных культур и обеспечения человечества безопасными для здоровья продуктами питания. Стратегия создания источников и доноров селекционно-важных признаков на основе природного генетического разнообразия, не-

смотря на кажущуюся ее консервативность, гарантирована от часто трудно предсказуемых последствий получения новых и улучшения сельскохозяйственных культур только (или преимущественно) на базе генетической инженерии и биотехнологии [34].

В селекционных программах последних десятилетий все большее значение приобретают агроэкологически и технологически специализированные (соответственно их размещению и использованию) сорта и гибриды. Многочисленные данные свидетельствуют в пользу “агроэкологической адресности” селекционных программ [3]. Но проблема адаптивности существует не только для селекции. Она актуальна на всех этапах сортоиспытания и семеноводства, а также работы с исходным материалом — ГРП [1, 3, 13, 17, 35, 51].

Молекулярное маркирование как инструмент в решении всех этих вопросов также нельзя рассматривать вне связи с проблемой адаптивности. При оценке эффективности маркерных систем для решения большинства проблем ГРП и селекции молекулярные маркерные системы должны получить оценку на адаптивность характера молекулярного полиморфизма. После этого ММ можно в той или иной мере эффективно использовать как решения проблем адаптивности, идентификации и анализа генетической дифференциации биоразнообразия и ряда других [13, 25, 51].

Растение следует изменениям окружающей среды двумя способами [51]: индивидуальными процессами экспрессии фенотипической пластичности (норма реакции) и (или) популяционными процессами в поколениях (эволюционные изменения). Количественные признаки представляют в этом плане особую сложность, так как они в высокой степени зависят от среды. Р. Аллард [25] приходит к заключению, что для ряда культурных видов (ячмень, овес, кукуруза и др.) в процессе эволюции реализовывался следующий наиболее важный генетический механизм адаптации: “развитие и стабилизация путем инбридинга благоприятных эпистатических комбинаций аллелей различных локусов, что привело к формированию стабильных мультилокусных генотипов, обеспечивших выдающуюся адаптивность в специфических условиях среды”. К менее важным генетическим механизмам этот автор относит элиминацию вредных аллелей и благоприятный эффект от взаимодействия аллелей одного локуса.

Во многих работах показано, что приспособляемость (адаптация) осуществляется при дискретных изменениях частот генотипов и/или аллелей по локусам морфологических признаков, обуславливающих устойчивость к неблагоприятным факторам среды, изоферментным локусам, локусам запасных белков и различных ДНК-маркерных систем и др. [1, 14 – 17, 25, 30, 35, 47, 49, 51]. Также показано, что анализ адаптивности с использованием маркерных систем, который базируется на динамике частот дискретно наследуемых аллелей локусов разного рода (изоферментов, запасных белков, фрагментов рестрикции, микросателлитов и др.), вполне корректен [1, 16, 22, 25, 47, 49, 51, 55, 56].

Несмотря на ряд ограничений, молекулярные маркерные технологии имеют явные преимущества перед многими другими подходами к анализу адаптивных процессов в популяциях [1, 14, 16, 25]. В ряде работ выявляемый в громадном числе экспериментов молекулярный (белковый и ДНК) полиморфизм объявляют селективно (читай — адаптивно) нейтральным. Следует сказать, что адаптивный характер молекулярного полиморфизма доказан во многих работах. Наиболее убедительно это сделано для белков [1, 14, 15, 17, 22, 25, 51]. Известно также, что значительная часть генетического материала генома представлена нетранскрибируемыми участками. Давление отбора на такие области несравнимо с таковым на структурные и регуляторные гены. Специалистам в области белкового и ДНК-полиморфизма хорошо известно, что характер такого полиморфизма в своем проявлении не представляет собой нечто однородное даже внутри одной маркерной системы (т. е. имеет разную степень связи с адаптивностью), не говоря уже о различных белковых и ДНК-системах. Поэтому неправомерно говорить о селекционной нейтральности всего выявляемого и имеющегося разнообразия молекулярного полиморфизма. Следует ответить на вопрос, какая доля регистрируемой на уровне ДНК или белков изменчивости адаптивна или нейтральна и по отношению к каким факторам среды, а значит, более пригодна для решения проблем внутривидового (или внутривидового) полиморфизма, идентификации и т. д. и т. п. Таким образом, актуален отбор адекватных маркерных систем и таковых, пригодных для анализа самих адаптивных процессов.

В литературе имеется достаточное число убедительных данных, свидетельствующих в пользу связи между распределением соответствующих аллельных комбинаций, или “альтернативных аллельных мультилокусных ассоциаций”, компонентов в спектрах белков и фрагментов ДНК и конкретными условиями среды. Адаптивность полиморфизма ДНК в отличие от таковой белков имеет, как было сказано выше, более сложный характер, поскольку часто неизвестна функциональная роль компонентов спектра анализируемой ДНК-маркерной системы.

Адаптивный характер полиморфизма изучали на многих белковых системах. Начало было положено для ферментов. Роль большинства ферментов в метаболизме, а также в формировании тех или иных признаков известна. Постепенно выясняется вклад в формирование признака отдельных компонентов изоферментного спектра, контролируемых аллелями гена. Имея маркеры аллелей, можно осуществлять отбор генотипов с желаемыми признаками, а также получить информацию о природе (организации) сложного признака. Так, характер полиморфизма 4-х из 14 изученных изоферментных локусов у популяций овса (*Avena barbata*) из Испании оказался четко связан с уровнем осадков и температурой [51]. Аллард [25] приводит пример 14-локусного “холодостойкого” генотипа *A. barbata*, который с высокой частотой встречается в северной части испанского

центрального плоскогорья. “Молекулярная адаптация” в условиях этой холодной зоны просматривается особенно четко, если рассмотреть ассоциацию только из четырех локусов. “Северные генотипы” оказались сосредоточены исключительно в узкой области с четкими характеристиками по числу морозных дней в году и низкой средней весенней температурой. Авторы заключают, что температура, в частности число морозных дней, определяет распределение генотипов в популяции [51]. Для популяций *A. barbata* в Калифорнии количество осадков является решающим фактором в адаптивном распределении таких генотипов [51].

Свидетельства в пользу адаптивного характера распределения аллелей супероксиддисмутазного локуса *Sod S* у ярового ячменя на территории бывшего СССР приведены в работе [15]. Установлено, что частота встречаемости быстроподвижного изозима, соответствующего аллелю *Sod S2*, уменьшается с севера на юг от 31,8 до 10%, а при продвижении с востока на запад — от 50 до 12%. Поскольку генотипы ячменя, имеющие этот изозим, обладают лучшей устойчивостью к кислым почвам, обнаруженный характер географического распределения аллеля *Sod S2* кажется вполне логичным, поскольку он согласуется с распространением кислых почв по территории бывшего СССР. Не менее важен вывод о том, что наибольшее распространение *Sod S2* имеет среди старых сортов. То, что за 60 лет селекции частота встречаемости *Sod S2* уменьшилась более чем вдвое, свидетельствует, по мнению авторов, что отбор был направлен в сторону “выделения более интенсивных генотипов, но менее приспособленных к неблагоприятным условиям, т. е. в сторону аллеля *Sod S1*” [15]. Электрофоретический маркер аллеля *Sod S2*, очевидно, можно использовать в анализе генетического разнообразия ячменя для отбора генотипов с повышенной устойчивостью к кислым и засоленным почвам.

Большое число примеров, свидетельствующих в пользу адаптивного характера полиморфизма запасных белков семян, мы находим в монографиях [10, 12, 22], а также в других публикациях [13, 14, 16, 17, 20, 21, 40, 56]. “Отобранные” в результате адаптивных изменений компоненты проламина несут собственную функциональную адаптивную нагрузку [21]. Рядом примеров может быть аргументирован адаптивный характер полиморфизма, выявляемого по локусам фрагментов рестрикции, микросателлитных локусов и RAPD-спектров [46, 47, 53, 55, 56]. Хотя, например, фрагменты рестрикции (RFLP-маркеры), по-видимому, представляют набор генетических маркеров более близких к нейтральным, чем изозимы [51].

Возникает вопрос, отражает ли молекулярный полиморфизм маркерной системы ее непосредственное участие в процессе адаптации (см. выше о локусе *Sod S*), либо с его помощью возможно только маркировать изменения в адаптивно значимых генетических системах (например, генные ансамбли количественных признаков). Вероятно, аллельные варианты белков служат эффективными маркерами генетических систем,

определяющих выраженность количественных признаков [22]. Для изоферментных систем четко показана их собственная роль в адаптации [15, 29, 49]. Адаптивная роль проламинов в эволюции злаков [21], а также других запасных белков растений, кажется, также не вызывает особых сомнений [10, 13]. Видимо, надо признать, что полиморфизм основных белковых маркерных систем — изоферментов [1, 15, 25], запасных белков (проламинов злаков, глобулинов двудольных) [10, 16, 17, 22], ингибиторов протеолитических ферментов [13] — все же несет определенную адаптивную нагрузку. Оценить ее адекватно не всегда просто, поэтому возрастает ответственность за корректность интерпретации полученных данных.

Существует мнение, что адаптивность обусловлена действием главных и минорных генов, на базе которых формируется более или менее сложный “ко-адаптивный генный комплекс” [35]. Согласно другим воззрениям, адаптивность есть результат суммарного эффекта действия многих аллелей с малым эффектом, а главные, или менделевские гены прямо в адаптацию не вовлекаются. Роль главных генов в последнее время снова активно обсуждают, в частности в связи с адаптацией к быстро изменяющимся условиям окружающей среды [42]. В любом случае адаптивность все исследователи связывают со многими генами, действие которых сильно зависит от окружающей среды. По мнению А. А. Созинова, достаточно простые, с малым числом локусов маркерные системы, например, проламины, могут служить маркерами сложных генетических систем, определяющих степень выраженности важнейших адаптивно значимых количественных признаков [22]. *Кроме того, в организме существует структурная и функциональная сопряженность всех генетических и морфогенетических процессов, которую В. Г. Конарев [9, 10, 14] рассматривает как одну из главных предпосылок в разработке методов маркирования генетических систем всех уровней.* В практике использования белковых и других ММ часто возникает вопрос об уровне такой сопряженности, особенно когда с использованием молекулярного полиморфизма по одной маркерной системе не удается, например, различать близкородственные сорта (см. об этом ниже). Объяснение этому феномену можно дать следующее. Во-первых, такие “сорта” плохо различаются и с использованием традиционных методов. Во-вторых, существуют различия в формировании адаптивных изменений в генах разных полиморфных локусов. *Разные локусы в одинаковых условиях могут иметь неодинаковую селективную нагрузку или даже быть нейтральными [1]. Следует учитывать характер взаимодействия генотип – среда: только в жестких условиях среды (или селекции) отбор затрагивает большое число полиморфных генов.* Таким образом, речь идет о большем или меньшем сходстве “адаптивного поведения” генетических систем (маркерной и тех, по которым шел отбор), с одной стороны, и неоднозначности сортового статуса таких “сорта”, с другой.

Известно, что некоторые сорта пшеницы, не различимые по спектрам глиадина, в то же время дифференцируются по спектрам глютеинов или ингибиторов протеаз [13, 14]. Как правило, если такие “сорта” не отличаются стандартными методами электрофореза белков, то они не отличаются и по стандартному (сокращенному) набору морфологических признаков. Для различения таких “сорта” предлагается использовать грунт-контроль при посадке “рядом”, с использованием полной схемы морфологических признаков [37] (подробнее об этом см. ниже). Из-за того, что, как было сказано, разные локусы в одинаковых условиях могут иметь разную селективную нагрузку или даже быть нейтральными [1], для мультигенных и мультилокусных маркерных систем может иметь место неоднородность характера молекулярного полиморфизма по различным локусам. Любая такая система нуждается в предварительном скрининге и отборе ограниченного числа соответствующих локусов (генных семейств) для эффективной работы с генетическим разнообразием [38].

Таким образом, мы снова приходим к выводу о важности фундаментального обоснования и выбора маркерных систем для решения конкретных проблем ГРР, селекции, семеноводства и т. д.

Данные, касающиеся связи уровня белкового полиморфизма с адаптивными характеристиками сортов, получены при изучении большого числа сортов пшеницы и ржи различного происхождения. Среди пшениц наибольшим полиморфизмом по спектрам проламинов характеризуются стародавние сорта (Крымки, Банатки, а также местные сорта пшеницы, имеющие в сортопопуляции до 20 и более биотипов). Высокие адаптивные характеристики этих сортов известны. Многие из них послужили генетическими источниками для улучшения сортов пшеницы по основным селекционным признакам. Ряд сортов пшеницы селекции 70 – 80-х годов, такие как Днепровская 521, Кавказ, Аврора и др., наряду с монотипностью по спектрам проламинов отличались крайне низкими адаптивными свойствами. Промежуточное положение по степени внутрисортного полиморфизма глиадина занимают сорта довоенной и послевоенной селекций, а также отечественные сорта-шедевры: Мироновская 808 (до четырех типов спектра глиадина), Безостая 1 (до трех). Их адаптивные свойства можно охарактеризовать как достаточно высокие [14].

Многолетние исследования сортов ржи различного происхождения (разные группы и направления селекции, разное географическое происхождение и т. д.) обнаружили связь между степенью полиморфизма сорта по секалину и уровнем его адаптивности (прежде всего это касается устойчивости сортов к биотическим и абиотическим факторам среды). Наиболее полиморфными по спектрам секалинов оказались отечественные сибирские и северорусские сорта (Вятка 2, Чулпан и др.). Их адаптивные характеристики отвечают самым высоким требованиям, в частности суровым условиям их культивирования. Минимальным полиморфизмом по спектрам секалина или отсутствием такового характе-

ризируются инбредные линии и сорта типа Тетрапеткус. Сорта европейской селекции и близкие к ним отечественные промежуточные как по адаптивным характеристикам, так и по уровню внутривидового полиморфизма. Анализ полиморфизма секалина исходного и селекционного материалов ржи разного происхождения позволил предложить эффективный метод формирования генотипического состава популяции ржи с заданными свойствами и его контроля [16]. На примере создания семейства короткостебельных сортов Малыш, Ильмень продемонстрирована эффективность электрофоретического контроля за генотипическим составом создаваемой сортопопуляции ржи, определен оптимальный, с точки зрения адаптивных свойств, уровень генетического полиморфизма сорта [16]. Аналогичные закономерности получены и при анализе полиморфизма запасных белков сортов разных направлений селекции у других культур.

Исследования сортов сахарной свеклы, созданных «рамонскими» селекционерами за 70 лет, проведены в ВИР И. П. Гаврилюк, В. И. Бурениным и Н. Н. Фоминой. Показано, что направленность и методы селекции отражаются на степени полиморфизма сортов, выявляемого по спектрам запасных белков. Так, для староместных сортов, сортов до- и послевоенной селекций наряду с хорошими адаптивными свойствами характерен высокий уровень внутрисортного полиморфизма. Сорта 60–80-х годов более однородны по спектрам белков (2–3 типа спектра). Сорта, создаваемые «рамонскими» селекционерами в последние годы, характеризуются значительным белковым полиморфизмом. Обнаружены новые генотипы, не типичные для ранее создаваемых сортов. Такая тенденция связана со стремлением селекционеров наряду с улучшением качества продукции и повышением урожайности повысить и адаптивные характеристики.

Как было уже сказано выше, наличие в ВИР мирового генофонда по большинству ведущих культур создает благоприятные условия для развития методологий и методов исследований исходного и селекционного материалов, в том числе и молекулярно-биологических. Последние всегда разрабатывались на базе всего доступного генетического разнообразия культуры, включая дикорастущих сороричей [4, 7, 9, 14]. Особое внимание уделялось разработке эффективных молекулярных методов для использования их в сортоиспытании, селекции, семеноводстве и семенном контроле [4, 18, 19, 27, 36]. ММ используют в этом случае для маркирования генотипов (или биотипов) по принципу «отпечатков пальцев». Последнее применение наряду с маркерной селекцией (селекцией, сопровождаемой ММ) получило за последние два десятилетия, пожалуй, наибольшее распространение в практике. Речь идет об использовании спектров запасных белков семян в идентификации сортов и семенном контроле [4, 9, 10, 36]. В основу методического подхода с использованием белковых спектров положено то, что «белковый спектр связан с генетической конституцией, может

быть рассмотрен как «fingerprint» сорта и использован для идентификации образцов и их смесей». Это базовое положение записано в разделе «Принципы идентификации видов и сортов с использованием электрофореза белков в «Международных правилах оценки качества семян» [36].

В работе с ГРР, а равно и в решении проблем селекции и семеноводства, где анализируют множество объектов, одно из важных требований к маркерным системам — воспроизводимость результатов и доступность для широкого использования, особенно если ставят задачу разработки стандартных и арбитражных методов [4, 11, 27, 31, 32, 36]. Качественные спектры запасных белков могут быть получены для семян, имеющих значительный срок хранения (более 100 лет) и потерявших всхожесть [54]. Воспроизводимость результатов опытов по электрофорезу запасных белков хорошая [4, 10, 22, 26, 29, 31]. Многочисленными исследованиями показано, что характер этих спектров не зависит от условий выращивания [10, 22, 25–27, 29, 31]. Детальное обоснование использования запасных белков семян в качестве генетических маркеров было дано в работах [9–12, 14].

Наличие большого числа аллельных вариантов по гену (одному или группам тесно сцепленных генов сложных локусов) обеспечивает электрофоретический полиморфизм проламинов, глютеинов, запасных белков семян других культур, а также ингибиторов протеаз. Большое число суммарных типов спектров обусловлено множеством комбинаций аллельных вариантов. То, что для многих культур практически каждому сорту, дикорастущему образцу и составляющим их популяции биотипам соответствуют свои собственные, характерные только для них электрофоретические спектры таких белков — их «отпечатки пальцев», связано, в том числе, с адаптивным характером полиморфизма маркерных белков. Адекватность характера полиморфизма запасных белков семян отличиям на уровне генотипов и сортов обеспечивает успех в маркировании этих генетических систем. Поэтому с использованием запасных белков семян в качестве маркеров связаны реальные практические достижения в идентификации и регистрации сортов важнейших сельскохозяйственных культур в семеноводстве и семенном контроле, что закреплено в решениях такой авторитетной международной организации, как ISTA и ряда других [4, 18, 19, 27, 31, 32, 36].

С 1922 г. вся деятельность в области семенного контроля объединяется под эгидой ISTA (Международная ассоциация по испытанию семян). Ст. 3 Конституции ISTA определяет первоочередной задачей ассоциации «...разработку, утверждение и опубликование стандартных процессов (методов) отбора образцов и испытания семян, а также обеспечение единообразного применения таких процессов для оценки семян в международном масштабе».

Сотрудничество ВИР с ISTA в области разработки методов сортовой идентификации с использованием

электрофореза белков началось в 1972 – 1973 гг. *Разработанные в ВИР методы сортовой идентификации по белкам в 1980 г. рекомендованы 19-м конгрессом ISTA к использованию в семеноводстве и семенном контроле и приняты конгрессом ISTA в 1983 г. как стандартные для идентификации сортов пшеницы и ячменя.* Биохимической идентификации сортов был посвящен ряд международных симпозиумов, один из которых проведен в ВИР в 1987 г. В 1989 г. на XII конгрессе EUCARPIA в Геттингене (Германия) организация работы секции “биохимические методы идентификации сортов” была также поручена ВИР.

На протяжении ряда лет отдел молекулярной биологии института участвовал в разработке международных стандартных арбитражных методов идентификации сортов пшеницы, ячменя, райграса, гороха, кукурузы и овса электрофорезом белков семян, включенных в Международные правила семенного контроля [36]. Готовятся для включения в Международные правила семенного контроля методы электрофореза для подсолнечника, рапса и свеклы.

По вопросам разработки стандартных методов идентификации сортов ВИР активно сотрудничал с Госкомиссией по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур и Государственной семенной инспекцией СССР. С 1982 г. по договору с Госкомиссией по сортоиспытанию ВИР регистрировал в виде белковых формул поступающие на испытание сорта многих культур для оценки их на “оригинальность”, “однородность” и “стабильность”. Это прежде всего пшеница, ячмень, рожь, овес, кукуруза, ежа, овсяница и райграс, горох. Для пшеницы белковые формулы включались в ежегодные государственные реестры сортов [4].

В 1989 г. Госагропром СССР, ВАСХНИЛ, ВИР и Госкомиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур издали “Рекомендации по использованию белковых маркеров в сортоиспытании, семеноводстве и семенном контроле” [19]. Рекомендации были утверждены научно-техническим советом Госагропрома СССР 15 декабря 1988 г. При подготовке рекомендаций учтен многолетний опыт работы биохимической группы ISTA и ВИР по разработке стандартных арбитражных методов электрофореза белков для Международных правил семенного контроля. В ноябре 2000 г. Министерством сельского хозяйства РФ издано распоряжение о том, что “...элитные семена всех сортов пшеницы и ячменя, предназначенные для реализации, подлежат определению их сортовой принадлежности методом электрофореза”. В 2002 г. Госсеминалспекцией России утверждены разработанные в ГНЦ РФ ВИР им. Н. И. Вавилова стандартные методики электрофореза запасных белков для идентификации сортов двудольных растений, сортов и линий ржи, а также семян кукурузы [4]. В ВИР и ряде других НИУ Министерством сельского хозяйства РФ аккредитованы “Испытательные лаборатории по оценке сортовой принадлежности и сортовой чистоты методом электрофореза”.

Использование ДНК-маркерных технологий привлекает исследователя прежде всего возможностью работать с самим носителем наследственной информации. Однако для наиболее простых в исполнении методов (RAPD) характерны плохая воспроизводимость и доминантный характер маркера (невозможность различения гомо- и гетерозиготных генотипов). Более совершенные методы трудоемки и дороги в исполнении [7, 12, 32, 39]. *Заключение о недостаточной готовности ДНК-методов для широкого использования в сортовой идентификации и семенном контроле сделано в рамках рабочих групп ISTA, конгрессов ISTA и др. Причины — несоответствие основным требованиям к стандартным методам семенного контроля.* Практически к аналогичным выводам, но только в связи с решением широкого круга проблем ГПП (особенно практических проблем генных банков) пришли участники рабочего совещания, организованного Международным институтом ГПП (IPGRI) [45]. *Все современные стандартные методы идентификации сортов и семенного контроля основаны на спектрах белков семян.*

В ходе специально проведенного эксперимента, в котором приняли участие девять лабораторий из шести европейских стран, сравнили возможности RAPD, AFLP и SSR-маркеров в изучении полиморфизма у растений [38]. Подтверждено, что при использовании техники RAPD-анализа возникают серьезные проблемы с воспроизводимостью результатов (подробнее об этом см. [7]). В случае с AFLP возникали проблемы с воспроизводимостью отдельных компонентов, а с SSR-маркерами — в ходе процедуры окрашивания серебром продуктов амплификации.

В трудах рабочего совещания IPGRI [45], многих других работах зарубежных исследователей последних лет справедливо отмечают, что разные ДНК-маркерные системы (в первую очередь наиболее доступные, такие как RFLP, RAPD, AFLP) достаточно широко и эффективно используют для выяснения степени родства (или генетических связей) на внутри- и межвидовом уровнях, а также идентификации сортов и гибридов. Несмотря, как было сказано выше, на достаточно объективную оценку возможностей ДНК-маркерных систем для решения большинства фундаментальных и прикладных проблем ГПП, игнорируются реальные достижения и практическое широкое и многолетнее использование в этих целях полиморфизма запасных белков [7 – 20, 22, 24 – 27, 29, 31, 32, 36]. Все проблемы идентификации и регистрации сортов (и ГПП в целом), практические проблемы рациональной организации коллекций планируется решать исключительно с использованием ДНК-маркеров [39, 45]. Приверженцы исключительного использования ДНК-маркеров в решении проблем ГПП, генетики, селекции, семеноводства и семенного контроля по какой-то причине не знакомы с достижениями в исследованиях полиморфизма белков [4, 7 – 22, 25 – 28], в том числе и в связи с “новыми” воззрениями на белки как объект протеомики, как на ключевое звено в реализации генетической ин-

формации и соответственно эффективный инструмент для маркирования различных генетических систем [1, 9, 12, 25, 34], и игнорируют международные материалы и документы, касающиеся практического использования белков в идентификации сортов и семенном контроле [27, 36]. При этом не приводится ни одной разработанной системы идентификации и регистрации генетических ресурсов культуры или группы культур с использованием ДНК-маркерных систем, ни фактов в пользу широкого практического использования этих систем в сортоиспытании или семенном контроле. Европейское Сообщество только с 2001 г. начало финансировать проект по созданию интегрированной информационной системы (на примере генофонда салата), которая должна включать и данные молекулярного маркерного анализа. В ВИР такую систему разработали и предложили уже в 1975 г. В настоящее время базы информации о генофондах важнейших культур, основанные на спектрах полиморфных белков, существуют в ВИРе в виде каталогов и компьютерных баз данных [11, 13, 20].

В последние годы достигнут значительный прогресс в развитии ДНК-маркерных технологий для их широкого практического использования в сортоиспытании, семеноводстве и семенном контроле. По мнению авторитетных в этой области специалистов, разные ДНК-тесты находятся сейчас в развитии и очень перспективны в будущем для сортовой идентификации. С их помощью можно получать ценную информацию о свойствах сортов, а также более фундаментально обосновывать “различимость новых сортов, предлагаемых для регистрации” [37, 42, 59]. Это также подтверждается в материалах 25-го конгресса ISTA [32]. Тем не менее в настоящее время белковым спектрам отдают предпочтение “как лучшим индикаторам генотипа” [59]. На спектрах белков основаны все международные и отечественные (“Методика проведения лабораторного сортового контроля...”, МСХ РФ, 2004) стандартные методы идентификации сортов ведущих сельскохозяйственных культур [4, 36].

Преимущества белкового полиморфизма для дифференциации и идентификации генотипов помимо других причин во многом обусловлены более адекватным характером адаптивного полиморфизма соответствующих белковых систем. Последнее, как уже было сказано, обусловлено, в частности, тщательным предварительным отбором белковых систем для решения конкретных вопросов (межвидовые или межгеномные отношения, внутривидовая, в том числе внутривидовая, дифференциация, идентификация генотипов и др.). Об этом свидетельствуют многочисленные литературные данные [10, 13 – 22, 24 – 28, 31, 32], включая приведенные выше примеры адаптивного характера полиморфизма изоферментов, проламинов и ряда других белков.

Международный союз по охране новых сортов (UPOV) постоянно подчеркивает важность использования для тестирования отличимости, однородности и

стабильности сортов характеристик, свободных от влияния окружающей среды и которые могут быть интерпретированы генетически. Проблема различимости сортов особенно остро встала перед UPOV, а теперь и перед Госкомиссией РФ по охране селекционных достижений с появлением большого числа сортов, имеющих минимальные генетические отличия. В ряде случаев такие сорта могут быть неразличимы и стандартными методами белкового анализа. Так, из 574 сортов Европейского каталога озимой пшеницы около 80 не различались ни по пяти “определяющим” для UPOV морфологическим признакам, ни по спектрам глиаина и глютелина. *Такие сорта предлагается различать грунтовым контролем при посеве “рядом” (side-by-side) по полной схеме морфологических признаков UPOV (26 признаков) или по таковой, принятой в стране [37].* В ВИР для этих целей успешно применяют другие белковые маркеры, например, ингибиторы протеолитических ферментов [4, 13, 14]. К решению такого рода проблем активно привлекают ДНК-маркеры [42]. *Нельзя не согласиться с авторами данной работы, и это подтверждено многолетним опытом исследований в ВИР [8, 10, 11, 14], что для каждой культуры необходимо подбирать оптимальные маркерные системы, а это потребует кропотливой работы: “культура за культурой — маркер за маркером” [41].* Проблема представляется настолько актуальной, что на 12-м секционном совещании EUCARPIA (сентябрь 2003 г., Испания) была организована секция “Использование молекулярных маркеров для развития, идентификации и различения новых сортов”.

В процессе распространения маркерных технологий на новые виды и культуры неизбежно возникают трудности как объективного, так и субъективного характера. Часто для нового объекта метод идентификации отрабатывают на ограниченном наборе образцов, нерепрезентативном для культуры (вида) в целом. *Таким образом, уровень полиморфизма и его характер (в том числе адаптивный) для используемой маркерной системы остаются неясными.* Используемые маркерные техники порой не отвечают основным требованиям, предъявляемым к стандартным методикам. Смешивают понятия “идентификация” и “дифференциация”, или различение сортов, генотипов (биотипов) и т. п. Предлагая новые методы “идентификации” сортов, образцов, гибридов, повышения эффективности и качества семеноводства и семенного контроля, разработчики часто не знакомятся с соответствующими нормативными документами (в том числе зарубежными), регламентирующими деятельность государственных или иных структур, имеющих дело с сортоиспытанием, семенным контролем и семеноводством. “Сортовая чистота”, “подлинность”, “оригинальность”, “стабильность” сортов — характеристики, для оценки которых пригодны методы (и лаборатории), прошедшие всесторонние испытания и зарекомендовавшие себя на практике [4, 18, 19, 36]. В рамках ISTA и ряде других международных организаций — это специальная система

тестов “лабораторий и методов” (см. выше о сотрудничестве ВИР и ISTA). Тесты проводятся в несколько этапов с участием десятков лабораторий из многих стран с использованием методов, предполагаемых для введения в качестве стандартных.

В настоящее время по такой системе в рамках ISTA тестируются “квалификация лабораторий и надежность методов” для идентификации генетически модифицированных организмов (семян — ГМС). Так, 90 лабораторий из 30 стран с 2002 г. участвовали в четырех “ISTA-опытных тестах” на способность определить присутствие ГМС в партиях семян. Объекты: кукуруза и соя. Методы: PCR-, ELISA, биометод. После 4-х тестов большинство лабораторий не имели проблем с качественным тестированием ГМС. У ряда лабораторий возникли сложности с количественным определением ГМС.

На пятом тестировании (2005 г.) обязательным является количественное определение ГМС в партии семян (соя; метод — PCR в реальном времени). *Таким образом, нет определенности со стандартными методами тестирования ГМС (ГМО) даже для наиболее распространенных трансгенных конструкций.* Предстоит решать вопрос о методах тестирования ГМО, несущих самые разные генные модификации. В связи с этим следует оценить возможности нашей страны по организации контроля за наличием в партиях семян ГМО. Для того чтобы соответствовать существующему международному уровню, очевидно, необходимо принять участие в профессиональных тестах и школах ISTA (аналогично разработке стандартных методов сортовой идентификации и семенного контроля, см. выше).

Для того чтобы идентифицировать сорт, генотип, гибрид, линию, клон (узнать его с использованием белковых или иных спектров в любой ситуации), *необходимо иметь каталоги и базы данных спектров, охватывающие генетическое разнообразие культуры или в целом вида, в том числе всех, допущенных к использованию сортов и гибридов.* Надежный метод записи спектров ДНК или белков (номенклатура компонентов спектра ММ) — принципиальный элемент любой стандартной системы идентификации и регистрации сортов по ММ [4, 9 – 12, 14, 26, 27, 29, 31]. Только в этом случае возможен обмен данными между контролирующими лабораториями независимо от их принадлежности (генные банки, НИУ и селекционные учреждения, контрольно-семенные лаборатории и т. п.) [31, 32].

В ВИР еще в начале 70-х годов В. Г. Конарев, И. П. Гаврилюк и Н. К. Губарева разработали номенклатуру компонентов электрофоретических спектров глиаина [4, 10, 12, 14]. Принципиальное отличие предложенной номенклатуры в том, что она базируется на результатах обстоятельного изучения внутривидовой изменчивости маркерного белка в мировой коллекции. В дальнейшем этот принцип реализовали для запасных белков семян большинства важнейших культур [4]. Используя эталонный спектр, составленный

Таблица 1. Результаты деятельности ВИР по изучению и регистрации ГРП с использованием спектров белков семян

Род	Количество изученных и зарегистрированных		Издано	
	видов	сортов и дикорастущих популяций	каталогов белковых формул	методических указаний
Пшеница	20	4300	12	4
Ячмень	17	255	1	3
Рожь	7	180	1	
Овес	19	215	3	1
Тритикале	1	500	1	
Эгилопс	25	2080	4	
Кукуруза	1	410	2	1
Рис	17	1776		
Сорго	28	155		
Пырей	40	120		
Элимус	33	68		
Житняк	4	25		
Колосняк	8	17		
Овсяница	50	260		1
Плевел	9	168		1
Ежа	3	173		1
Мяслик	30	120		
Другие злаковые	131	1260		
Фасоль	88	102		
Другие бобовые	118	510		1
Картофель	44	300		
Свекла	13	300		2
Капуста	20	209		1
Лук	27	105		
Амарант	5	18		
Подсолнечник	30	700	2	2
Лен	6	40		
Гречиха	4	150		
Плодовые	33	333		
Ягодные	21	160		
Цитрусовые	13	47		
Куфия	26	36		
Хохоба	1	50		

для культуры, можно записать спектр любого сорта, биотипа, образца в виде так называемых белковых формул [14]. В первую очередь это было осуществлено для большого числа родов злаков, включающих важнейшие зерновые и кормовые культуры (табл. 1). Был составлен единый эталонный спектр проламинов злаков триб пшеницевых (*Triticeae* Dum.), овсовых (*Aveneae* Dum.), тимофеевковых (*Phleaeae* Dum.) и мятликовых (*Poeae* R. Br.). *Спектр был основан на изучении спектров проламинов десятков тысяч отдельных семян (генотипов), включающих все возможные позиции этого белка. Кроме того, для каждой культуры составили рабочий эталонный спектр проламина* [4, 14, 40]. При распространении номенклатуры и принципов записи компонентов глиаина пшеницы на другие проламины (и соответственно культуры) необходимо было получить доказательства гомологии компонентов этого белка и соответствующих по электрофоретическим свойствам компонентов проламиновой фракции других злаков, а также в ряде случаев для непшеницевых зла-

ков — прямые доказательства проламиновой природы компонентов электрофоретических спектров. Глиадин и другие проламины отличаются специфическим аминокислотным составом [2, 10, 14, 21]. Особенностью строения генов проламинов является наличие коротких повторяющихся последовательностей ДНК. Мы изучили биохимические свойства (включая аминокислотный состав) и N-концевую последовательность компонентов электрофоретических спектров проламиновой фракции представителей трибы мятликовых (овсяница, ежа, мятлик) [2, 14]. Для всех изученных аминокислотных последовательностей компонентов проламиновой фракции нами были выявлены повторяющиеся полиглутаминовые участки со следующими за ними остатками пролина, фенилаланина и тирозина. Такое строение полностью соответствует “проламиновому” типу молекулы белка. По аминокислотному составу компоненты электрофоретического спектра проламиновой фракции изученных представителей трибы мятликовых оказались также сходными с таковыми глиадина и проламинов других пшеницевых злаков. В результате впервые были получены прямые доказательства структурного сходства молекул глиадина и проламинов представителей трибы мятликовых [2, 14]. Таким образом, было обосновано распространение принципов идентификации и регистрации генетического разнообразия пшеницы с использованием полиморфизма глиадина на непшеницевые злаки [4, 14]. Номенклатуры электрофоретических спектров глиадинов разработаны также специалистами Франции, Канады и ряда других стран [26, 29]. Разработана генетическая номенклатура спектров и компонентов проламинов пшеницы и ячменя [22].

Запасные белки семян бобовых — глобулины — использовали в сортовой идентификации зерновых бобовых культур — гороха, сои, вики, люпина, кормовых бобов, а также кормовых бобовых трав (клевер, люцерна, донник). У бобовых, как и у ряда других двудольных растений, для идентификации были привлечены 7S (вицилиноподобные) и 11S (легуминоподобные) глобулины [14]. Сортовую идентификацию по спектрам запасных белков (глобулинов) осуществляют у многих других двудольных растений, в частности подсолнечника, свеклы, капусты, салатных растений, горчицы и др. (табл. 1) [4, 10, 11, 13, 14, 24].

Так, по результатам сравнительного анализа 150 представителей различных видов капустных (*Brassica* L.) С. П. Фарбер составлен эталонный спектр круциферина (глобулина) для представителей данного рода, включающего важные кормовые, овощные и технические культуры. По такому спектру записывают формулы круциферина видов, сортов, линий, гибридов представителей этого рода [4, 13, 24].

Аналогичным образом составили суммарный спектр гелиантинина (глобулина подсолнечника). Спектр состоит из всех возможных позиций полипептидов этого белка, обнаруженных к настоящему времени при анализе внутривидовой изменчивости [13, 14], что позволяет идентифицировать и регистрировать внутриви-

довое разнообразие подсолнечника, включая сорта, линии, гибриды [4, 13, 27].

Для надежной идентификации и регистрации сортового генофонда ведущих зерновых культур и их дикорастущих сородичей в большинстве случаев достаточно электрофореза запасных белков. Иногда приходится использовать другие типы белков, например глютеины или ингибиторы протеолитических ферментов [4, 14]. Разработанные и апробированные в ВИР методы сортовой идентификации и документации генофонда культурных растений обобщены в 2000 г. [4].

В последние годы в нашем институте Н. В. Алпатьевой создан “Электронный белковый паспорт культурных растений”. Совместно с Е. Г. Лебедевой и Т. С. Разореновой создано программное обеспечение для управления базами паспортных данных, основанных на спектрах белков. Работа получила высокую оценку на Первой национальной конференции “Информационно-вычислительные технологии в решении фундаментальных научных проблем и прикладных задач химии, биологии, фармацевтики, медицины” (Москва, 2002).

В связи с вышеизложенным принципиальной является проблема соответствия статуса сорта в общепринятом смысле и такового с использованием молекулярных маркерных подходов. Для корректного подхода к вопросу предварительно проводят специальные исследования на большом объеме сортов и на внутривидовом разнообразии дикорастущих сородичей [4, 14]. Наиболее сложно дело обстоит с перекрестноопыляющимися культурами, поскольку каждый сорт или образец представляет собой смесь различных генотипов, которым соответствуют разные типы спектра белка или ДНК. Принципиально важны исследования на уровне отдельных генотипов или семян, поскольку такая сортовая или дикорастущая популяция может быть надежно идентифицирована и зарегистрирована только по наличию определенных типов спектра (или компонентов) и частоте их встречаемости. Детально эти вопросы проработаны для сортового и дикорастущего генофондов ржи [16], а также кормовых злаковых трав — овсяницы, плевела и ежи [4, 14, 40, 57].

В табл. 2 приведен пример записи образца овсяницы луговой (к-35593) в базе данных, основанной на спектрах проламинов отдельных семян ($n = 100$). Практически для идентификации популяции часто бывает достаточно проанализировать типы спектра только по группе α - или β -проламина [14, 57]. Специфическими для образца (или сорта) характеристиками являются наличие определенных типов спектра (как правило, доминирующих) и частота их встречаемости. Для представителей рода *Brassica* L. и ряда других сортовым признаком может служить частота встречаемости как типов спектра, так и отдельных полипептидов [4, 13, 24]. После создания баз данных спектров (компьютерных либо каталожных) открываются реальные возможности использования белковых или ДНК-маркеров для решения ряда практических вопросов формирования коллекций, например, некоторых проблем интродук-

Таблица 2. Пример записи образца овсяницы луговой (*Festuca pratensis* L.) в базе данных, основанной на спектрах проламинов отдельных семян (выборка — 100 семян)

№ по каталогу ВИР	№ записи	Код типа спектра проламина	Запись спектров проламинов в базе данных	Частота встречаемости типа спектра, %
35593	224	27	0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0	31
35593	225	35	0 0 0 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0	29
35593	226	36	0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0	9
35593	227	46	0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 0 0 0 1 0	9
35593	228	48	0 0 0 1 0 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0	7
35593	229	89	0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 0 0 0 1 0	5
35593	230	93	0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1 0	5
35593	231	94	0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0	3
35593	232	101	0 0 0 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0 1 0	1
35593	233	103	0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0	1

ции или пополнения коллекции. Так, на основании сравнительного анализа информации, заложенной в каталоги или базы данных в виде белковых формул, или в электронный каталог, а также информации, полученной при анализе вновь поступившего семенного материала, может быть сделан предварительный вывод о степени оригинальности последнего (для предотвращения дублирования образцов). Многолетний опыт ВИР показывает, что такая информация, как правило, в дальнейшем подтверждается с использованием так называемых традиционных методов. Каталоги и базы данных спектров сортов необходимы (и используются практически) для определения сортовой подлинности и чистоты (природы примесей) партий семян и товарных партий зерна в процессе деятельности испытательных лабораторий.

Для белков как ММ наряду с определенными ограничениями и преимуществами характерно еще и то, что наиболее часто и эффективно используемые белковые маркерные системы в подавляющем большинстве были отобраны среди множества разнообразных белков в результате многолетнего биохимического, генетического изучения генофондов культур [4, 10, 14, 22, 26, 27, 29, 31, 32]. Теперь специалисты в области ДНК-маркерных технологий называют этот этап предскринингом маркерных систем, который является необходимым элементом работы с большинством ДНК-маркерных систем [33, 38, 46, 53, 58].

Так, для RAPD-анализа этот принципиальный момент работы соответствует отбору из множества (как правило, из нескольких сотен) случайных праймеров (наборов случайных последовательностей ДНК) небольшого числа таких, которые обеспечивают соответствующий поставленным задачам уровень и адаптивный характер полиморфизма электрофоретических спектров. Следующий этап работы — отбор компонентов в электрофоретических спектрах, которые следует учитывать при обработке данных и которые включаются в матрицу для статистической обработки результатов по оценке генетического полиморфизма или генетической дифференциации биоразнообразия.

В результате такого предскрининга исследователь реально имеет дело с отобранными электрофоретиче-

скими компонентами, соответствующими ограниченному числу эффективных для решения данной задачи генных локусов. Последние, по имеющимся данным, впрочем, могут быть равномерно распределены по хромосомам [33]. То есть даже при таком “простом” и быстром методе, как RAPD, каждый исследователь всякий раз должен просеивать громадное число последовательностей, чтобы отобрать подходящие для решения конкретной задачи. Так, П. П. Стрельченко [23] при анализе дифференциации разнообразия мягкой и других гексаплоидных пшениц с использованием RAPD-маркеров отобрал в ходе первичного скрининга из 700 праймеров только 28, обеспечивших синтез 125 воспроизводимых и полиморфных фрагментов ДНК при анализе всех 148 сортов (т. е. выявлявших полиморфизм у изучаемого набора сортов). Анализ этих сортов по 125 полиморфным признакам (фрагментам ДНК) привел к созданию большой компьютерной матрицы данных, которая потребовала от авторов тщательной обработки с применением целого ряда независимых методов многомерного статистического анализа. Помимо построения, по данным RAPD-анализа, генетической классификации исследуемой выборки сортов для последующего сопоставления ее с существующими для гексаплоидных пшениц классификациями, задачей исследования было выявление комбинаций праймер-компонент RAPD-спектра, которые вносят наибольший вклад в генетическую дифференциацию идентифицированных групп образцов.

Для RFLP (кододоминантной маркерной системы) процедура предскрининга заключается в отборе соответствующих проб (фрагментов ДНК или РНК, используемых для идентификации специфических фрагментов ДНК в сложной их смеси, образующейся после процесса рестрикции). Не менее сложны предварительные процедуры для таких распространенных техник, как AFLP и SSR. Так, для SSR-маркеров (микросателлиты) необходим анализ геномной библиотеки с SSR-пробами с последующим сиквенированием положительных клонов для синтеза олигонуклеотидных праймеров. Затем эти праймеры тестируют с разными образцами (объектами изучения). В отличие от ряда других методов, основанных на использовании полимеразной цепной реакции, AFLP позволяет выявлять в одном опыте полиморфизм растений по большому числу локусов с высокой степенью повторяемости результатов. Благодаря высокому качеству спектров, а также большей стабильности и контролируемости всех этапов AFLP как метод генетического фингерпринтинга весьма популярен при изучении генетического разнообразия растений, для генетического картирования и маркирования генов. Однако эти маркерные техники и их различные модификации достаточно трудоемки и, главное, дороги, что существенно ограничивает их широкое применение для работы с ГРП, а также для практического использования в сортовой идентификации и семенном контроле.

SSR-маркеры отличаются широким и достаточно равномерным распределением по геному и очень высоким уровнем полиморфизма. Это делает их полезными для генетических исследований и генотипирования. Однако некоторые исследователи указывают на серьезные ограничения при использовании мультилокусных маркерных систем для анализа растительного биоразнообразия; причины проанализированы [38]. Оказалось, что статистические методы, необходимые для оценки результатов анализа популяций по многим, да еще мультиаллельным локусам, в этих случаях оказываются практически малопригодными (в целом из-за наличия слишком большого количества лишней — непригодной информации). Проблема может быть решена использованием ограниченного числа заранее отобранных локусов, т. е. всякий раз нужна большая предскрининговая работа. [38, 39, 43, 53]. Мультиаллельность SSR-локусов создает ряд проблем, например, для получения читаемых и надежных спектров. В целом SSR-маркерные системы следует признать достаточно сложными для изучения биоразнообразия, главным образом из-за трудоемкой и многоступенчатой процедуры создания соответствующих задаче праймеров. Ситуация с трудоемкими ДНК-маркерными системами может измениться после более широкого внедрения автоматических приборов, позволяющих анализировать тысячи образцов. Следует, однако, учитывать высокую стоимость таких приборов, что будет тормозить внедрение этих методик в практику сортоиспытания, семеноводства и семенного контроля.

Большинство эффективно работающих белковых маркерных систем, как было сказано выше, были отобраны в результате предварительных обстоятельных исследований. Показано хорошее совпадение данных по дифференциации генетического разнообразия различных культур, полученных с использованием полиморфизма белков (например, проламинов), с существующими сведениями по эколого-географической дифференциации этих культур [14, 17, 22, 40, 56, 57]. Накоплено много свидетельств в пользу того, что полиморфизма по нескольким мультигенным локусам (у гексаплоидной пшеницы — по шести мультигенным локусам глиадинов) может быть достаточно для выяснения характера взаимосвязей (родства) между образцами. Другое дело, насколько правильно выбрана маркерная система, каким образом подобран материал для исследований и корректно ли обсуждаются результаты. Таким образом, наибольшее значение имеет “качество” используемых маркерных систем, их пригодность для решения конкретной задачи. Теория и практика многолетних исследований свидетельствуют, что число таких маркерных систем ограничено и их еще надо найти [10, 12, 13, 20, 22, 24 – 28].

Дифференциацию пшеницы спельта изучали с использованием полиморфизма по локусам глиадинов [20]. При этом удалось не только получить хорошее совпадение генетической группировки образцов с основными эколого-географическими группами спельты, но и пред-

ложить более детальную дифференциацию генофонда культуры. Упомянутые выше работы по генетической дифференциации биоразнообразия по ММ служат не только целям генетической структуризации коллекций. Скрининг генофонда с использованием ММ — эффективный инструмент контроля за состоянием коллекций (генетическая целостность или подлинность образцов, наличие дублетных образцов, наличие технических ошибок в определении образцов и т. д.). Все это, в конечном счете, вместе со знанием генетической структуры коллекции, представляет важные элементы формирования рационально организованных коллекций, обеспечивающих высокую эффективность сохранения и использования генетического разнообразия в селекции.

Наглядным примером использования адаптивного характера полиморфизма белков служит его применение для контроля за генотипическим составом популяций. Для практической селекции, семеноводства, а также для генных банков, где в процессе хранения и репродукции образцов коллекции могут происходить неконтролируемые изменения генотипического состава, спектры изоферментов и запасных белков — эффективный инструмент для анализа и управления генетической структурой популяций.

Сохранение ГРП *ex situ*. Задача *ex situ* консервации есть поддержание образцов без изменения их генетической конституции [45, 57]. Необходимо свести к минимуму возможность изменений, происходящих с образцами посредством мутаций, селекции, случайного дрейфа или засорения. Это одно из важнейших условий полноценного функционирования генных банков любых организмов. Контроль за генетической целостностью — подлинностью, чистотой хранимого (и периодически пересеваемого) материала — важнейшая задача генного банка. Проблема идентификации в мировых коллекциях дублетов и так называемых очень сходных образцов остро встала в генных банках, особенно с крупными коллекциями. В решении всех этих задач молекулярные технологии оказались очень полезными [7, 20, 45].

Так, в ходе уже упомянутой работы по анализу полиморфизма глиадинов в коллекции пшеницы спельта ВИР выявлены группы образцов (как мономорфных, так и полиморфных по спектрам белков) со сходными спектрами глиадина, которые вполне можно отнести к дублетам или к “генетически очень близким образцам”. В ВИР исследования по выявлению в коллекциях образцов с одинаковыми спектрами маркерных белков проводят на протяжении многих лет на самых разных культурах. После дополнительного сравнительного изучения по другим признакам и в случае подтверждения дублетной природы таких образцов они могут быть переведены в ранг резервных, с более редким циклом репродукции.

В мировой литературе имеется громадное число публикаций, посвященных использованию белковых маркеров (изоферментов и запасных белков) в анализе структуры популяций многих видов растений, особен-

но культурных. Полиморфизм по локусам ферментных систем и запасных белков широко используют для анализа динамики популяций в зависимости от самых разных факторов. В ВИР накоплен большой опыт по использованию спектров запасных белков семян для анализа динамики популяций перекрестноопыляющихся культур (и генотипического состава самоопыляющихся) в процессе репродукции образцов. В коллекции ВИР сохраняется большое число образцов старых русских местных сортов мягкой озимой пшеницы и других местных сортов и форм. Было показано, что старые сорта, а также сорта народной селекции имеют более высокий уровень популяционного полиморфизма, что делает их ценным источником генетического разнообразия для улучшения современных сортов [11, 13, 14, 35]. Задача генных банков и центров ГРП — не только собрать, зарегистрировать и изучить эти образцы, но и сохранить все богатство генетической изменчивости уникальных форм.

Довольно часто возникает ситуация, когда спектр оригинального образца не соответствует таковому репродуцированного (пока речь идет о культурах самоопылителях). Здесь вариантов может быть несколько.

1. Репродуцированный образец характеризуется совершенно другим спектром маркерного белка. Например, образец сорта НД 2281 (Индия), репродуцированного на Дербентской ОС ВИР, имеет отличный от оригинала спектр глиаина. Не исключен вариант просто ошибки. При этом спектральная характеристика репродукции Пушкинских лабораторий ВИР соответствовала оригиналу.

2. Утерян один из генотипов, маркируемый по спектру маркера (ДНК или белка), или изменилось соотношение генотипов. Например, образец к-59626 (мексиканский сорт *Ihuris*) характеризовался несколькими типами спектра с определенными частотами встречаемости (тип 1 — 40%, тип 2 — 33%, тип 3 — 17%, тип 4 — 10%). Ташкентская репродукция этого образца оказалась совершенно однородной и характеризовалась только одним типом спектра.

Причины таких изменений могут быть самые разные — от технических до связанных с несоответствием эколого-географических условий ряда ОС ВИР “адаптивным характеристикам” сорта (образца).

Специальные исследования проведены в ВИР на 6 образцах стародавних мягких пшениц — Банатках. В течение трех лет (1988 – 1989 гг., 1989 – 1990 гг., 1990 – 1991 гг.) образцы высевали на Кубанской ОС ВИР. Состав генотипов контролировали по спектрам глиаинов. Показано, что у образца к-4816 в течение трех лет концентрация доминирующего генотипа “а” снизилась с 78 до 52%, а генотипа “в” повысилась с 6 до 33%. У образца к-10230 концентрация доминирующего генотипа “а” снизилась с 84 до 57%, а генотипа “б” повысилась с 7 до 31%. Таким образом, через три года репродукции генотипный состав образцов несколько изменился [8, 13, 57].

Проблема генетической целостности образцов, сохраняемых *ex situ*, всегда рассматривалась в ВИР как приоритетная при молекулярных исследованиях генофондов различных культур. Один из последних примеров такой работы — сравнительное изучение хранящихся в коллекции ВИР (еще с 20-х годов прошлого столетия) 26 оригинальных образцов овса посевного (староместные сорта) и их репродукций 1989 – 2000 гг. Анализ биотипного состава таких форм по спектрам проламинов проводила в нашей лаборатории Я. Г. Зеленская. Сравнение биотипного состава образцов-оригиналов с таковым репродукций позволило выявить у 8 образцов коллекции несоответствие в составе: уменьшение у 4-х репродуцированных образцов доли минорных биотипов и соответственно увеличение встречаемости основного биотипа. Таким образом, образцы в ходе репродукций могут превращаться из полиморфных в мономорфные. Для ряда репродуцированных образцов, наоборот, наблюдали увеличение частоты встречаемости минорных биотипов и уменьшение таковой основного биотипа на 3 – 16%. Таким образом, образцы из мономорфных становятся в ходе репродукций полиморфными. У 5 полиморфных образцов наблюдали увеличение количества биотипов. У ряда репродуцированных образцов количество биотипов осталось неизменным, но произошло перераспределение частоты встречаемости основных и минорных биотипов. В ряде случаев в процессе многократной репродукции образцов овса часть минорных биотипов исчезает и появляются новые биотипы, что может быть следствием биологического или механического засорения. При репродукции полиморфных образцов часто меняются соотношение основных биотипов и состав минорных. Несмотря на то что такого рода изменения выявлены у небольшого числа образцов, полученные данные свидетельствуют о необходимости контроля за генотипическим составом сохраняемых в коллекции образцов. Аналогичные исследования проводят в ВИР с генофондами пшеницы, ячменя, капусты, подсолнечника, салата, свеклы и многих других.

В Институте генетики и селекции растений (Гатерслебен, Германия) изучена генетическая идентичность 8 образцов мягкой пшеницы из коллекции, хранящейся в генбанке этого института и репродуцированных от 5 до 24 раз в течение 50 лет [28]. Для этого были использованы микросателлитные маркеры. Для 7 репродуцированных образцов ни примесей, ни других изменений по сравнению с оригиналами не обнаружили. Изменения зафиксированы только у 1 образца (№ 4599). В нашей лаборатории (Н. К. Губарева, Д. Л. Корнюхин и А. В. Конарев) с использованием спектров глиаина подтвердили достаточно высокий уровень сохранения генетической целостности этих образцов мягкой пшеницы в ходе многократной репродукции в генбанке Гатерслебена. Анализ спектров отдельных семян позволил проконтролировать биотипный состав оригинальных образцов и репродукций, в том числе уровень генетической целостности образцов на уровне минор-

ных биотипов. В результате показано, что у образца № 4599 действительно произошли изменения в генетическом составе (генетический дрейф) в ходе репродукций. Конечно, молекулярные подходы не могут обеспечить информацию обо всех образцах коллекций. Тем не менее в решении спорных вопросов, особенно касающихся ценного генетического материала, применение молекулярных методов вполне оправдано.

Генетические коллекции — особо ценный материал, сохранность которого сопряжена с многими методическими трудностями. Белковые спектры используют в ВИР для контроля за стабильностью генотипов растений, представляющих генетические линии, для идентификации чужеродных транслокаций, мутаций, изменения числа и состава хромосом. Сравнительный анализ спектров глиадинов сортов-оригиналов мягкой пшеницы с транслокациями и замещениями пшеничной хромосомы на ржаную (*1B/1R*) и их репродукций, проведенный в нашей лаборатории Т. И. Пеновой и др. [13], показал, что у ряда репродуцированных образцов встречаются генотипы с отсутствием глиадиновых маркеров короткого плеча хромосомы *1RS* ржи, что свидетельствует о генетических изменениях в процессе репродукции. ММ эффективны в анализе этих изменений. Использование же в качестве маркеров белков, полученных из части зерновки с сохранением жизнеспособности зародыша, позволяет воспроизводить и анализировать по потомству генотипы с выявленными изменениями [13]. Этот и многие другие примеры указывают на необходимость контроля чистоты и целостности коллекций в процессе их репродукции с использованием современных методов.

Наиболее трудно контролировать генетическую целостность образцов перекрестноопыляющихся растений. Анализ таких сложных популяций, состоящих из множества генотипов, часто трудно отличающихся друг от друга по морфологическим признакам, — задача непростая. В ВИР также накоплен опыт по использованию спектров запасных белков семян для анализа динамики популяций перекрестноопыляющихся культур в процессе репродукции образцов [7, 14, 16, 40, 57].

Так, была изучена динамика сортовых популяций перекрестноопыляющейся культуры — ежи сборной — по спектрам проламина после репродукции образцов на Павловской ОС ВИР. Генотипический состав популяций сортов Союз 60 (Ставропольский НИИСХ) и Ленинградская 853 (Северо-Западный НИИСХ) несколько изменился после репродукции на ПОС. Особенно значительные изменения произошли в составе популяции сорта Ленинградская 853. Величина χ^2 при сравнении частот генотипов превысила критические значения, что говорит о достоверных различиях сравниваемых популяций. Результаты сравнения состава популяций сорта Нева (Северо-Западный НИИСХ) оригинальных репродукций селекцентра 1980 и 1985 гг. показали, что достоверных различий между ними нет. Репродукция в условиях ПОС ВИР (1986) привела к изменениям в составе популяции [14, 40, 57].

Оригинальные образцы дикорастущих популяций овсяницы луговой (*Festuca pratensis* L.) были сравнены с их репродукциями на ПОС ВИР. Показано, что популяции из разных регионов страны в условиях ПОС ведут себя по-разному. Популяции из Горного Алтая, ряда горных районов Северного Кавказа претерпевают значительные изменения после репродукции на ПОС ВИР. В то же время популяции из Тамбовской и Воронежской областей достоверных изменений после репродукции на ПОС ВИР не претерпели [14].

Можно предположить, что приведенные выше изменения в популяциях есть результат реакции на нетипичную для сорта среду. Причины могут быть и другие (например, недостаточный размер делянки или чисто технические). Приведенные примеры изменений в составе популяций образцов (утрата их оригинальности и подлинности) не относятся к разряду исключений. Игнорировать такие факты нельзя. Подобная проблема стоит перед всеми учреждениями, занимающимися воспроизведением образцов коллекций, в том числе генетических.

Исходя из изложенного, можно сделать вывод, что образцы следует регистрировать на основе оригинальных репродукций, а контролировать их подлинность всеми доступными методами. Гораздо практически сложнее вопрос соответствия (в эколого-географическом плане) ОС ВИР и других учреждений в области репродукции образцов мировой коллекции или иного растительного материала. По ряду объективных причин на полях НИУ и их ОС иногда репродуцируют образцы растений из других климатических зон, что, как уже было сказано, может привести к потере генетической целостности воспроизводимого образца. Конечно, все должно быть осмыслено критически, а в случае необходимости перепроверено с использованием других методических подходов.

Использование ММ в решении проблем *in situ* сохранения. В совокупности с другими подходами ММ очень эффективны при разработке стратегии и тактики поиска, сбора и сохранения ценного генетического разнообразия [7, 14, 35]. Наряду с комплексом традиционных методов они могут быть использованы для направленного поиска новых генотипов (нового аллельного разнообразия) с целью привлечения их(его) в коллекцию [7, 35, 39, 45]. ДНК и белковые маркеры вполне реально применять для поиска (идентификации) среди, например, дикорастущих популяций аллельных вариантов, ранее не найденных в генофонде уже существующей коллекции. Аналогичный подход можно применить для поиска генетического разнообразия, ранее по каким-то причинам не привлеченного в селекционные программы. В ВИР так исследовали ряд культур, как самоопыляющихся, так и с перекрестным типом опыления.

На основании результатов анализа большого числа сортов ежи сборной из различных стран, климатических зон (разных селекционных центров) установлено, что подавляющее их число имеет в своей основе близ-

кородственный исходный материал. Практически это означает, что генетическая основа популяций сортов базируется на ограниченном исходном материале. Значительную часть природного генофонда культуры (вида) в селекцию не привлекали [14, 40, 57]. У дикорастущих популяций ежи сборной, происходящих из Горного Алтая, Северного Кавказа и Карелии, найдены специфические типы спектра проламина, либо не обнаруженные вообще ни в одной сортовой популяции, либо идентифицированные в 1 – 2 сортах.

Специалистам в области генетических ресурсов уже давно понятно, что стратегия сохранения, в частности аллелей и групп аллелей, состоит в контроле не только за их распределением, но и за частотой их встречаемости. Д. Маршалл и А. Браун [44] предложили различать четыре класса аллелей:

- 1) общие широко распространенные;
- 2) общие с локальным распространением;
- 3) редкие широко распространенные;
- 4) редкие с локальным распространением.

Понятно, что нет проблем с сохранением аллельного разнообразия первой группы. Его можно сохранить в небольшом числе образцов из нескольких популяций.

Редкие локально встречающиеся аллели можно сохранить только в образце очень большого размера. Сохранение общих, но узко локализованных аллелей обеспечивают соответствующей стратегией сбора. *Эти аллели могут быть важны как адаптивно значимые для тех популяций, которые ими обладают.* Так, в уже упомянутых выше дикорастущих популяциях ежи сборной, происходящих из Горного Алтая, Северного Кавказа и Карелии, как раз и были найдены *общие, соответственно локально распространенные группы аллелей* (по спектрам проламина). Ряд аналогичных закономерностей эколого-географического распределения компонентов проламина наблюдали у дикорастущих популяций овсяницы луговой. Специфические компоненты обнаружены [14, 40] в спектрах проламинов популяций горных районов Кавказа и Закавказья, а также популяций из Северной Европы (Швеция, Мурманская область), т. е. так же, как и в случае с ежой, в районах с экстремальными климатическими условиями.

Все сказанное убеждает, что деятельность по сбору и сохранению биоразнообразия должна быть ориентирована на его максимальное количество. Большинство существующих традиционных методов анализа биоразнообразия имеет слабую генетическую базу, поэтому необходим весь комплекс подходов, включая информационные и молекулярные [35], чтобы оптимизировать весь процесс формирования коллекций ГРП в соответствии с современным уровнем понимания проблем сохранения генетического разнообразия [14, 39, 44, 45].

Использование ММ в селекции. Белковые маркеры на протяжении последних десятилетий используются в селекционных программах для решения многих вопросов (табл. 1). Этому посвящено большое число отечественных и зарубежных публикаций [10, 22]. В ВИР

проламиновые спектры используются, в частности, для отбора определенных генотипов (по соответствующим типам спектра) при селекции различных культур. Так, в ходе селекции сорта озимой пшеницы Тюменская ранняя с помощью спектров глиадины формировали “желаемый” биотипный состав создаваемого сорта (НИИСХ Северного Зауралья). В этом же селекционном центре в 1996 – 2001 гг. совместно со специалистами ВИР и также с использованием электрофореза запасных белков для отбора генотипов с требуемыми свойствами был выведен сорт гороха Тюменец.

Весьма нагляден пример связи между белковой формулой биотипов у сортов озимой мягкой пшеницы и устойчивостью этих биотипов (сортов с данными биотипами) к низким температурам. Одним из основных свойств, которым должна обладать озимая мягкая пшеница, является зимостойкость. Из характеристик, обуславливающих зимостойкость, наиболее изучена морозостойкость. Последняя контролируется многими генами, локализованными в разных хромосомах. Это, естественно, затрудняет исследование признака зимостойкости, его маркирование и соответствующую селекцию. Показано [22], что сорта озимой пшеницы, в составе спектров глиадины которых присутствуют определенные блоки компонентов, обладают повышенной зимостойкостью. Согласно биохимической номенклатуре компонентов глиадины, разработанной в ВИР, это соответствует компонентам: $\gamma 2\omega 78$ (блок *Gld 1A1*), $\gamma 1\omega 67$ (блок *Gld 1A2*), $\gamma 13\omega 58,9 10$ (блок *Gld 1D5*), $\alpha 2467\beta 1$ (блок *Gld 6A3*) и $\alpha 57\beta 245$ (блок *Gld 6D2*). Исследования в нашей лаборатории [8, 13] были проведены на большом числе сортов озимых мягких пшениц (около 300) разных экологических групп (групп селекции). Морозостойкость растений определялась методом прямого промораживания в посевных ящиках. Дифференцирующими температурами были -15°C и -18°C . Действительно, большинство сортов с высокой и повышенной морозостойкостью характеризуется указанными выше блоками (группами) компонентов глиадины. Так, на большом числе сортов показано, что наличие генотипа с компонентами $\alpha 2467$ и $\omega 8,9 10$ придает сорту повышенную морозостойкость. Дело, однако, усложняется в ходе анализа генотипического состава сортов. Как правило, не удается обеспечить 100%-ную концентрацию выдающихся генотипов по одному признаку, и селекционеры вынуждены “разбавлять” сорт другими генотипами. Последние обеспечивают другие характеристики, но обладают меньшей зимостойкостью. Особенно хорошо это заметно при анализе родословных некоторых наших отечественных сортов озимой мягкой пшеницы. В родословной озимых мягких пшениц одесской селекции на первом этапе присутствует морозостойкий сорт Гостианум 237 (группа морозостойкости 1). Выяснено, что если после последующих скрещиваний полученные сорта по проламиновым спектрам были близки к Гостианум 237 (в частности, по наличию и частоте встречаемости генотипов с компо-

нентами $\alpha 2467$ и компонентами $8_1 9 10$ в ω -зоне), они также обладали хорошей морозостойкостью. Таким образом, спектры глиадина можно использовать для определения потенциальной морозостойкости сортов озимой мягкой пшеницы в пределах определенных групп селекции. При этом необходимо знать белковую формулу генотипа (генотипов) морозостойкого сорта, который послужил источником данного признака в ходе селекции. Это позволит контролировать включение его генетического материала во вновь создаваемые сорта [13].

В данном случае, казалось бы, речь идет об использовании простой маркерной системы для анализа полигенного признака (морозостойкость). Но фактически маркируется не признак, а то, что называется интегральным состоянием генома. По принципу “fingerprinting” маркируют генотип вместе с его адаптивным генным комплексом. Поэтому упомянутый специфический спектр (или набор компонентов), в строгом смысле, не маркер морозостойкости (хотя нельзя отрицать значения адаптивного характера полиморфизма проламинов). Трактовать такого рода данные надо очень осторожно и применительно к конкретным маркерам и обстоятельствам.

В ВИР за последние 20 лет проведены широкомасштабные исследования генофонда культурной и дикорастущей ржи по полиморфизму секалина. Наряду с идентификацией и паспортизацией мирового генофонда значительное внимание было уделено проблемам селекции. Фактически разработаны подходы к селекции ржи, сопровождаемой ММ [14, 16].

Примером использования полиморфизма проламинов для сопровождения селекционного процесса является история создания сорта ржи Ильмень. Использование в селекции короткостебельных сортов донора короткостебельности EM 1 для скрещивания с обычными высокорослыми сортами обычно завершается выделением и отбором короткостебельных растений. Этот процесс приводит к уменьшению уровня популяционного полиморфизма, что выражается в соответствующих характеристиках молекулярного полиморфизма [16]. Практическим следствием становится снижение продуктивности, уровня адаптивности (снижается устойчивость к неблагоприятным факторам), ухудшаются другие хозяйственные признаки. Причины этих негативных явлений были объяснены на основе данных молекулярного анализа популяционного полиморфизма семейства сортов Малыш. На этом этапе селекции не удалось достигнуть оптимального уровня генетического полиморфизма, что отразилось на адаптивных свойствах популяции, а также на продуктивности сорта.

Оптимального уровня полиморфизма достигли фактически менее жестким отбором после повторного скрещивания с Вяткой 2 (по данным молекулярного полиморфизма, обогащение популяции проходило за счет редких генотипов). По мере возрастания внутривидового разнообразия увеличивалась и продуктив-

ность у последующих вариантов сорта — Малыш (1977 – 1979 гг.) и особенно у сортов Россиянка и Ильмень.

Возможности прикладного использования белкового полиморфизма могут быть также реализованы при изучении эффекта гетерозиса. Так, по данным Т. И. Пенева, у сортов и линий ржи, дающих при скрещивании гибриды F_1 с высоким эффектом гетерозиса, имеется большое число несовпадающих типов спектра, а при одинаковых типах спектра обнаружены большие различия в частотах их встречаемости. Сравнение компонентного состава спектров секалина у сортов и линий показало, что *более высокий гетерозисный эффект дают гибриды от скрещивания пар с большими различиями по встречаемости компонентов $\beta_3, \gamma_1, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \omega_1$ спектра секалина.*

У сортов ржи закономерности распределения вариантов спектра секалина, характерные для линий, дающих при скрещивании гетерозисный эффект, выражены слабее. Для оценки различий сортов и линий ржи по спектрам проламинов использовали значения евклидова расстояния (Rab).

Анализ большого числа сортов и линий ржи по типам спектра проламинов позволил Т. И. Пенева выявить группы сортов и линий, дающих при скрещивании эффекты гетерозиса — от максимального до невысокого, но стабильного. В последнюю группу входят сорта различных эколого-географических групп и селекции с $0,5 > Rab > 0,2$. Отмечено, что гетерозисный эффект тем выше, чем больше различаются группы или сорта между собой. Так, при скрещивании среднеполиморфных сортов Dominant, Dankow. Z1 с высоко-полиморфным сортом Вятка 2 в F_1 проявляется устойчивый гетерозис. Значениями $Rab < 0,2$ характеризовались высокополиморфные сорта, для которых при попарном сравнении различия недостоверны: число совпадающих типов спектра было велико, и сумма частот этих спектров превышала 70%. Эти сорта, как правило, мало различаются между собой по другим признакам, а при скрещивании дают низкий гетерозисный эффект. Примером может служить пара: Вятка 2 – Житкинская. Следовательно, сведения о составе и встречаемости спектров и компонентов проламина линий и сортов ржи можно использовать при подборе пар для скрещивания, анализе их комбинационной способности и для прогнозирования возможного гетерозисного эффекта. В. В. Сидоровой в нашей лаборатории на основе анализа большого числа линий, сортов и гибридов кукурузы отечественной и зарубежной селекции также установлено, что наибольший гетерозисный эффект достигается при скрещивании линий, имеющих максимальные отличия по электрофоретическим спектрам зеина. Ранее связь эффекта гетерозиса с числом специфических компонентов проламина у родительских линий показана нами для сорго [41]. Полиморфизм запасных белков (зеина) используют в гетерозисной селекции кукурузы [14, 18, 19]. Также белковые спектры применяют для определения гибридности семян (сортов) злаковых трав [14, 27, 40], свеклы [19], различных видов капуствы

и горчицы [13, 24], подсолнечника [13, 14, 27], кукурузы [14, 27] и многих других культур [4].

Таким образом, показано, что, анализируя скрытую генетическую изменчивость, можно не только контролировать состав популяций в ходе искусственного отбора, семеноводства, влияния среды и т. д., но и, основываясь на основных положениях популяционной генетики, вскрывать причины тех или иных явлений, ставить диагноз, указывать способы решения и предсказывать практически важные селекционные последствия для разных культур.

Использование белковых маркеров в сортоиспытании. С конца 70-х годов белковые маркеры наряду с полевыми и лабораторными методами использовались в системе Государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур при Министерстве сельского хозяйства СССР для установления оригинальности, однородности и константности сортов пшеницы, ячменя и овса [4, 31, 42]. Одновременно с методикой электрофореза белков в полиакриламидном геле, разработанной в ВИР, для идентификации сортов пшеницы применяли методику электрофореза в крахмальном геле [22]. Формулы проламинов, записанные на основе анализа семян соответствующего сорта, полученного от учреждения оригинатора, включены в Государственный реестр (введен с 1993 г.) сортов допущенных к использованию в производстве [18].

С середины 80-х годов электрофорез проламинов привлекали в ряде случаев Государственной комиссией по сортоиспытанию для решения отдельных спорных вопросов, касающихся оригинальности, однородности и константности новых сортов кормовых злаковых трав — ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.), райграса (*Lolium* L.), овсяницы луговой (*Festuca pratensis* L.). Метод использовали также для определения гибридной (амфидиплоидной) природы семян, при решении вопроса о соотношении гибридных и негибридных зерновок в сортовой популяции.

Использование в семеноводстве и семенном контроле. Белковые маркеры наряду с традиционной схемой (полевая апробация и др.) успешно используются для определения сортовой чистоты при семеноводстве и семенном контроле. Метод позволяет вести отбор элитных растений и потомств. Особенно эффективны белковые маркеры в последующих звеньях первичного семеноводства — питомниках испытания потомств и питомниках размножения, где обязателен контроль за появлением нетипичных для сорта растений. Нетипичные формы растений могут быть выявлены анализом индивидуальных семян. В ряде случаев при элитном семеноводстве может нарушаться биотипный (генотипический) состав сорта, а значит, могут изменяться его характеристики. Контроль посредством электрофореза белков отдельных семян очень эффективен для решения этих практических вопросов и может резко поднять качество семеноводства, а также сократить сроки создания элиты с 7 до 5 лет, что продемонстрировано на

многих примерах [18, 19], в числе которых первичное семеноводство сорта ячменя Криничный [18].

Эффективность применения электрофоретического контроля за динамикой генотипического состава у синтетических сортовых популяций ежи сборной в процессе семеноводства в различных условиях среды продемонстрирована нами [13]. В частности, показано, что японские синтетические сортовые популяции ежи сборной (Wasemidori, Okamidori, Toymidori) в процессе репродукции в условиях штата Орегон (США) претерпели существенные изменения по их генотипическому составу (различия достоверны при пороге вероятности $P = 0,99$). Важно подчеркнуть, что между репродукциями, полученными в разных географических зонах и в разные годы в Японии, достоверных различий по генотипическому составу выявлено не было. Результаты послужили основой для пересмотра существующей схемы семеноводства данных сортов. Таким образом, адаптивный характер полиморфизма проламинов в совокупности с используемой системой учета, регистрации и обработки данных по частотам встречаемости спектров [13, 14, 57] позволяют надежно фиксировать изменения, происходящие в генотипическом составе семенных репродукций в различных условиях окружающей среды. Использованию электрофореза белков в семеноводстве и семенном контроле, в частности для конкретных культур и групп культур, посвящены многочисленные публикации [4, 9 – 14, 18, 19, 27, 59].

В последние годы проблема оценки качества семян гибридов кукурузы приобрела чрезвычайно актуальное значение. Несоответствие заявляемых характеристик реальности (в частности, процент гибридных зерновок, степень генетической однородности гибридов и др.) и, как следствие, экономические потери заставили отечественные государственные и частные организации все чаще обращаться к независимым от продавца объективным методам контроля качества семян. Таковыми для кукурузы являются стандартные методы электрофореза или изофокусирования зеина — запасного белка семян [4, 18, 19, 36]. Благодаря кодоминантному характеру наследования белковых компонентов, методы позволяют не только оценивать селекционный материал и партии семян гибридов с точки зрения их соответствия основным критериям качества [14], но и в большинстве случаев вскрывать причины, вызвавшие отклонения от заявленных характеристик (например, степень генетической однородности инбредных линий, реально использованных для получения гибридов, процент материнских генотипов в гибридной партии, другие характеристики генотипического состава, в частности наличие специфического генетического материала от других селекционных линий с определенными характеристиками, использованными при получении гибридов, и т. д.).

В ВИР методом электрофореза зеина анализируются родительские линии (контроль за однородностью и чистотой создаваемых селекционерами линий), партий гибридных семян (простые, трехлинейные и другие

гибриды на процент гибридности, однородность, наличие других генотипов и происхождение последних). Работа идет по заявкам селекционных НИИ, фирм, НПО, других заказчиков. “Электрофоретический сертификат” качества необходим, в частности, для партий семян, предлагаемых за рубеж. В институте издаются каталоги, где в виде белковых спектров зарегистрированы наиболее распространенные гибриды и линии. Каталоги и базы данных пополняются линиями и гибридами, получаемыми от российских селекционеров, а также из-за рубежа.

В ВИР с использованием электрофореза белков анализируются сортовая принадлежность и качество партий семян овощных культур: капусты, огурца, моркови, редиса, перца сладкого, кабачка, а также свеклы, баклажана, тыквы, дыни, лука и др. Образцы на анализ поступают от предприятий “Сортсеменовощ” из разных регионов РФ (С.-Петербург, Армавир, Краснодар, Липецк и др.). Анализируются также пробы семян по заявкам Госсеминации Ленинградской области. Стимулировали этот процесс в последние годы факты неудовлетворительного семеноводства, перепутывание и засорение сортов, приведшие к экономическим потерям. В испытательной лаборатории ВИР с 2000 г. по спектрам белков оценены сортовая принадлежность и чистота 135 партий семян овощных культур. Для 19 партий семян сортовая подлинность не подтверждена. У 24 выявлено наличие примесей других сортов. Для ряда партий примесь составляла 50–80%. В специальной работе В. Г. Конарева [11] приведен полный перечень названий каталогов белковых формул, методических указаний и рекомендаций по использованию белковых маркеров в селекции, семеноводстве и семенном контроле, изданных с 1970 г.

Итак, в результате многочисленных исследований показан адаптивный характер полиморфизма ряда белковых и ДНК-систем растений [1, 4, 6–20, 22, 24, 25, 29, 30, 33, 35, 37, 39–43, 46–51, 53, 55, 57, 59], что позволяет успешно использовать этот полиморфизм для осуществления надежной дифференциации и идентификации генотипов (биотипов), сортов и видов растений, а также для анализа генетических процессов, связанных с адаптацией к условиям среды и протекающих в популяциях в естественных условиях, в ходе селекции и в процессе семеноводства, при репродукции образцов в генных банках и др.

ЛИТЕРАТУРА

- Алтухов Ю. П. Генетические процессы в популяциях. — М.: Наука, 1988. — 328 с.
- Введенская И. О., Шляпников С. В., Конарев А. В. Характеристика N-концевой аминокислотной последовательности α -проламина *Dactylis glomerata* L. // *Биохимия*. — 1986. — № 9. — С. 1519–1522.
- Жученко А. А. Эколого-генетические основы адаптивного семеноводства: Тез. конф. “Семя”. — М., 1999. — С. 10–49.
- Идентификация сортов и регистрация генофонда культурных растений по белкам семян / Под ред. В. Г. Конарева / СПб.: ВИР, 2000. — 186 с.
- Картель Н. А., Макеева Е. Н., Мезенко А. М. Генетика // Энцикл. словарь. — Минск: Тэхналогія, 1999. — 275 с.
- Конарев А. В. Всероссийский НИИ растениеводства и его вклад в развитие сельскохозяйственной науки и селекции страны // *С.-х. биология*. — 1994. — № 3. — С. 13–75.
- Конарев А. В. Использование молекулярных маркеров в работе с генетическими ресурсами растений // Там же. — 1998. — № 5. — С. 3–25.
- Конарев А. В., Конарев В. Г., Губарева Н. К., Пенева Т. И. Белки семян как маркеры в решении проблем генетических ресурсов растений, селекции и семеноводства // *Цитол. и генет.* — 2000. — Т. 34, № 2. — С. 91–104.
- Конарев В. Г. Принцип белковых маркеров в генетическом анализе исходного и селекционного материала // *Физиология растений в помощь селекции*. — М., 1974. — С. 242–269.
- Конарев В. Г. Белки растений как генетические маркеры. — М.: Колос, 1983. — 320 с.
- Конарев В. Г. Молекулярно-биологические исследования генофонда культурных растений в ВИРе (1967–1997). — СПб.: ВИР, 1998. — 97 с.
- Конарев В. Г. Морфогенез и молекулярно-биологический анализ растений. — СПб.: ВИР, 2001. — 417 с.
- Молекулярные маркеры в решении проблем генетических ресурсов растений и селекции / Под ред. А. В. Конарева // *Аграрная Россия*. — 2002. — № 3. — С. 4–65.
- Молекулярно-биологические аспекты прикладной ботаники, генетики и селекции // *Теоретич. основы селекции* / Под ред. В. Г. Конарева. — М.: Колос, 1993. — Т. I. — 447 с.
- Нецветаев В. П., Поморцев А. А., Крестников И. С. Распределение аллелей супердиоксидмутазного локуса в культуре ярового ячменя по территории бывшего СССР // *Генетика*. — 1995. — Т. 31, № 12. — С. 1664–1670.
- Пенева Т. И., Конарев В. Г., Кобылянский В. Д., Лапиков Н. С. Анализ полиморфизма по спектрам секалина в процессе становления сорта озимой ржи Ильмень // *С.-х. биология*. — 1998. — № 1. — С. 55–62.
- Поморцев А. А., Калабушкин Б. А., Бланк М. Л., Бахровнов А. Б. Изучение естественного отбора в искусственных гибридных популяциях ярового ячменя // *Генетика*. — 1996. — Т. 32, № 11. — С. 1536–1544.
- Применение электрофореза белков в первичном семеноводстве зерновых культур: Метод. указания / Под ред. В. Г. Конарева и В. Г. Еникеева. — СПб.: ВИР, 1993. — 42 с.
- Рекомендации по использованию белковых маркеров в сортоиспытании, семеноводстве и семенном контроле / Под ред. В. Г. Конарева. — М.–Л.: Госагропром СССР, ВИР, 1989. — 20 с.
- Романова Ю. А., Губарева Н. К., Конарев А. В. и др. Исследование коллекции вида пшеницы *Triticum spelta* L. по полиморфизму глиадинов // *Генетика*. — 2001. — Т. 37, № 9. — С. 1258–1265.
- Семихов В. Ф., Арефьева Л. П., Новожилова О. А. Адаптивные типы проламинов, специализированных белков семян злаков // *Физиол. раст.* — 2000. — № 3. — С. 303–321.
- Созинов А. А. Полиморфизм белков и его значение в генетике и селекции. — М.: Наука, 1985. — 327 с.
- Стрельченко П. П., Митрофанова О. П., Мальшев Л. Л. и др. Генетическая дифференциация евразийского подвида мягкой пшеницы по данным RAPD-анализа // *Аграрная Россия*. — 2002. — № 3. — С. 11–23.
- Фарбер С. П., Артёмьева А. М. Полиморфизм основного запасного белка семян видов рода *Brassica* L. // *С.-х. биология*. — 2000. — № 3. — С. 17–23.
- Allard R. W. Genetic basis of the evolution of the adaptedness in plants // *Adaptation in Plant Breeding* // Ed. P. M. A. Tigerstedt. — 1997. — P. 1–12.
- Autran J. C., Bourdet A. L'identification des varietes de ble: etablisement d'un tableau general de determination fonde sur le diagramme electrophoretique des gliadines du grain // *Ann. Amelior. Plantes*. — 1975. — V. 25, № 3. — P. 227–301.
- Biochemical Identification of Varieties // *Mater. of III Int. Symp. ISTA (L., 1987)* / Eds. V. Konarev, I. Gavriljuk. — 1988. — 257 p.

28. Boerner A., Chebotar S., Korzun V. Molecular characterization of the genetic integrity of wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm after long-term maintenance // *Theor. Appl. Genet.* — 2000. — V. 100. — P. 494 – 497.
29. Bushuk W., Zillman R. Wheat cultivar identification by gliadin electrophoregrams. I. Apparatus, method and nomenclature // *Can. J. Plant Sci.* — 1978. — V. 58. — P. 505 – 515.
30. Clegg M. T., Allard R. W. Patterns of genetic differentiation in the slender wild oat species *Avena barbata* // *USA Proc. Natl. Acad. Sci.* — 1972. — V. 69. — P. 1820 – 1824.
31. Cooke R. J. The standartization of electrophoresis methods for variety identification // *Biochemical Identification of varieties: Mater. of III Int Symp. ISTA. USSR, L., 1987. — USSR, L.: VIR, 1988. — P. 14 – 27.*
32. Cooke R. J. Modern methods for cultivar verification and the transgenic plant challenge // *Abstrs. of 25th Int. Seed Testing Congr. (Pretoria, 1998. April 15 – 24), ISTA. — Zurich, 1998. — P. 9 – 10.*
33. Devos K. M., Gale M. D. The use of random amplified DNA markers in wheat // *Theor. Appl. Genet.* — 1992. — V. 84. — P. 567 – 572.
34. Dunwel J. V. Future prospects for transgenic crops // *Phytochem. Rev.* — 2002. — № 1. — P. 1 – 12.
35. Hawtin G., Ivanga M., Hodgkin T. Genetic resources in breeding for adaptation // *Adaptation in Plant Breeding* / Ed. P. M. A. Tigerstedt. — 1997. — P. 277 – 288.
36. Int. Rules for Seed Testing. Rules 1996 // *Verification of species and cultivar. Seed Sci. & Technol.* — 1996. — 24 (Supplement). — P. 253 – 270.
37. Jarman R. J., Jones H. A MAFF funded project to manage and rationalize variety reference collections in testing for Distinctness, Uniformity and Stability (DUS) using winter wheat *T. aestivum* as example species // *Plant Var. Seeds.* — 1999. — № 12. — P. 221 – 223.
38. Karp A., Edwards K. Molecular techniques in the analysis of the extent and distribution of genetic diversity // *Molecular genetic techniques for plant genetic resources: Report of an IPGRI Workshop (October 1995). — Italy, Rome, 1997. — P. 11 – 22.*
39. Jones C. J., Edwards K. J., Castaglione S., et al. Reproducibility testing of RAPD, AFLP and SSR-markers in plants by network of European laboratories // *Molec. Breed.* — 1997. — № 3. — P. 381 – 390.
40. Konarev A. V., Vvedenskaya I. O., Nasonova E. A., Perchuk I. N. Use of prolamine polymorphism in studying genetic resources of forage grasses // *Gen. Resour. Crop Evol.* — 1995. — V. 42. — P. 197 – 209.
41. Konarev A. V., Khomutnikova L. A., Malinovski B. N. The use of electrophoresis of storage proteins in breeding sorghum for heterosis and in marking biotypes of value for breeding // *Extended synopsis FAO / IEAE Int. Symp.: The Use of induced Mutations and Molec. Techniques for Crop Improvement. — Austria, Vienna, 1995. — 201 p.*
42. Law J. R., Cooke R. J., Reeves J. C., et al. Most similar variety comparison as a grouping tool // *Plant Var. Seeds.* — 1999. — № 12. — P. 181 – 190.
43. Lynch M. The similarity index and DNA fingerprinting // *Mol. Biol. Evol.* — 1990. — № 7. — P. 478 – 484.
44. Marshall D., Brown A. Optimum sampling strategies in genetic conservation // *Genetic Resources for Today and Tomorrow. — Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 1975.*
45. Molecular genetic techniques for plant genetic resources // *Report of an IPGRI Workshop. Italy, Rome, 1995 (9 – 11 October)* / Eds. Ayard W. G., Hodgkin T., Jaradat A., Rao V. R. — IPGRI, 1997. — 137 p.
46. Newbury H. J., Ford-Lloyd B. V. The use of RAPD for assessing variation in plants // *Plant Grow Regul.* — 1993. — № 12. — P. 43 – 51.
47. O'Donoghue L. S., Souza E., Tanksley S. D., Sorrels M. E. Relationships among North American oat cultivars based on restriction length polymorphism // *Crop Sci.* — 1994. — V. 34. — P. 1251 – 1258.
48. Orr H. A., Coyne J. A. The genetics of adaptation: A reassessment // *Am. Nat.* — 1992. — V. 140. — P. 725 – 742.
49. Ordon F., Bauer E., Friedt W. Marker based selection for the ym4 BaMMV-resistance gene in barley using RAPDs // *Agro-nomie.* — 1995. — V. 15. — P. 481 – 485.
50. Parsnson P. A. Evolutionary rates under environmental stress // *Evol. Biol.* — 1987. — V. 21. — P. 311 – 347.
51. Perez de la Vega. Plant genetic adaptedness to climatic and edaphic environment // *Adaptation in Plant Breeding* / Ed. P. M. A. Tigerstedt. — 1997. — P. 27 – 38.
52. Rieger R., Michaelis A., Green M. M. Glossary of Genetics. Classical and Molecular. — NY: Springer-Verlag, 1991. — 553 p.
53. Scribner K. T., Arntzen J. W., Burke T. Comparative analysis on Intra- and Interpopulation genetic diversity on *Bufo bufo* using allozyme, single locus microsatellite, Minisatellite and multi-locus mini-satellite data // *Mol. Biol. Evol.* — 1994. — № 11. — P. 737 – 748.
54. Schulze A., Steiner A., Ruckebauer P. Variability of an Austro-Hungarian landrace of barley (*Hordeum vulgare* L.) / Electrophoretic analysis of the hordeins of the Vienna sample of 1877 // *Variet. Seeds.* — 1994. — № 7. — P. 193 – 197.
55. Strelchenko P., Kovaleva O., Okuno K. Genetic differentiation and geographical distribution of barley germplasm based on RAPD-markers // *Gen. Resour. Crop Evol.* — 1999. — V. 46. — P. 193 – 205.
56. Strelchenko P., Gubareva N., Kovaleva O., Graner A. Geographical and breeding trends within Eurasian cultivated barley germplasm revealed by molecular markers // *Plant Gen. Resour. Character. Evaluat.* — Japan, Tsukuba: NIAR, 1998. — P. 115 – 133.
57. Vvedenskaja I. O., Alpatyeva N. V., Gubareva N. K., Konarev A. V. Use of storage protein electrophoresis in the analysis of genetic resources of some cereals. Erhaltung and nutzung pflanzengenetischer ressourcen — eine internationale aufgabe für natürschützer, genbanken und pflanzenzüchter // *Vortrage für pflanzenzüchtung.* — 1993. — B.25. — S. 187 – 201.
58. Weising K., Nybom H., Wolff K., Meyer W. DNA fingerprinting in plants and fungi. — CRC Press, 1995. — 322 p.
59. Wrigley C. W., Batey I. L. Methods for establishing: distinctness of cereal-grain genotype in cultivar registration // *Plant Var. Seeds.* — 1999. — № 12. — P. 169 – 179.

Конарев А. В., докт. биол. наук, профессор,
Всероссийский НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова

ВКЛАД А. И. ЕРМАКОВА В ИЗУЧЕНИЕ ГЕНОФОНДА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ (к 100-летию со дня рождения)

Н. П. Ярош, А. В. Конарев, Г. К. Низова, В. И. Хорева

В 2005 г. исполнилось 100 лет со дня рождения доктора биологических наук, профессора А. И. Ермакова — одного из основоположников частной биохимии культурных растений в нашей стране, которая зарождалась при Н. И. Вавилове и в свете его идей. А. И. Ермаков являлся учеником профессора Н. Н. Иванова — организатора отдела биохимии ВИР. При непосредственном участии А. И. Ермакова в течение многих лет складывалась вавиловская система биохимического изучения культурных растений. А. И. Ермаков — один из видных ученых в области биохимии культурных растений в нашей стране; более 50 лет он плодотворно трудился в биохимической лаборатории Всесоюзного научно-исследовательского института растениеводства им. Н. И. Вавилова.

Доктор биологических наук, профессор Александр Иванович Ермаков — один из основоположников частной биохимии культурных растений в нашей стране, которая зарождалась при Н. И. Вавилове и в свете его идей. Он являлся учеником профессора Н. Н. Иванова — организатора отдела биохимии ВИР. При участии А. И. Ермакова складывалась вавиловская система биохимического изучения культурных растений.

А. И. Ермаков — один из крупнейших ученых в области биохимии культурных растений в нашей стране; более 50 лет он плодотворно трудился в биохимической лаборатории Всесоюзного научно-исследовательского института растениеводства им. Н. И. Вавилова (ВИР).

А. И. Ермаков родился 6 декабря 1905 г. в Буйнакске. Детские и юношеские годы провел в Ялте. В 1923 г. поступил в Крымский университет, затем перевелся в Ленинградский университет на биологическое отделение физико-математического факультета. Специализировался на кафедре физиологии и биохимии растений. Дипломную работу выполнял у академика С. П. Костычева на тему “Первые стадии дыхания масличных семян”.

В 1927 – 1928 гг., будучи студентом старших курсов, работал практикантом в химической лаборатории института опытной агрономии (позже ВИР) у проф. Н. Н. Иванова, который пригласил его по окончании университета в 1929 г. работать в отделе биохимии института. В 1930 г. в структуру Всесоюзного института растениеводства входил отдел биохимии с лабораториями: биохимии пищевых и кормовых культур, технических растений, эфиромасличных растений и с 1933 г. — витаминов. Основателем и руководителем отдела биохимии был проф. Н. И. Иванов, он же заведовал лабораторией пищевых и кормовых культур. А. И. Ермаков возглавил группу биохимии масличных культур, которая входила в состав лаборатории биохимии пищевых и кормовых культур. Главными задачами лаборатории в то время было изучение закономерностей химической изменчивости в пределах видов и родов, закономерностей изменчивости химических веществ под влиянием факторов внешней среды и в процессе развития расте-

ний. Впоследствии эти направления определили развитие частной биохимии культурных растений.

Начиная с 1930 г. А. И. Ермаков последовательно, с большой целеустремленностью изучал генофонды масличных культур из уникальной мировой коллекции ВИР. Характер его исследований был продиктован потребностями селекции, необходимостью выявления исходного материала для селекции на химический состав сортов в связи с решением проблемы растительных масел в нашей стране. Подход А. И. Ермакова к решению этой проблемы был широк и разнообразен. Он одновременно охватывал биохимические, физиологические и селекционные аспекты.

А. И. Ермаков начал изучение видовой и сортовой изменчивости содержания масла и степени его непредельности, а также сопутствующих веществ у всех масличных, технических и других растений, возделываемых на территории нашей страны. Изучение масличных растений, происходящих из различных регионов мира, и выращивание в одних и тех же условиях в нашей стране давало ясное представление о наследственной изменчивости признака масличности. Помимо сортовой была изучена индивидуальная изменчивость содержания масла по растениям в пределах образцов (лен, кунжут) и по отдельным семенам (подсолнечник, лен), а также доказан наследственный характер наблюдаемой изменчивости. Разработанные А. И. Ермаковым методы определения масла в малых пробах и в части семени, без потери его всхожести, сделали возможным изучение характера наследования количества масла при внутрисортных и межсортных скрещиваниях льна (долгунцы, кудряши).

Изучение закономерностей изменчивости главных компонентов семян (масла, белка) и сопутствующих веществ у различных видов масличных культур проводилось с использованием географического принципа Н. И. Вавилова.

В 1935 г. А. И. Ермакову была присуждена ученая степень кандидата биологических наук без защиты диссертации.

К концу 30-х годов исследования, выполненные в отделе биохимии ВИР, позволили установить ряд важных общих закономерностей изменчивости содержания различных химических веществ у культурных растений. Работы по биохимии сорта имели не только теоретическое, но и практическое значение. Они обеспечивали необходимость и возможность селекции на химический состав.

К 40-му году завершением издания семи томов “Биохимия культурных растений” были подведены итоги большой биохимической работы, проведенной в течение ряда лет отделом биохимии. В этой работе самое активное участие принимал А. И. Ермаков. Он являлся ответственным редактором 3-го тома (“Масличные культуры”), где были его две монографические работы: “Биохимия льна”, “Биохимия подсолнечника”, и одним из авторов тома “Кормовые культуры” (“Биохимия сорго”). Изданием серии работ лаборатории “Биохимия культурных растений” (тома 1 – 7) было положено начало частной биохимии растений в нашей стране.

Отечественная война прервала научно-исследовательскую деятельность А. И. Ермакова. Он в первые дни войны вступил в народное ополчение. Затем воевал в действующей армии на Ленинградском фронте. После войны с апреля 1946 г. по апрель 1947 г. он — старший научный сотрудник отдела химии Всесоюзного института лекарственных растений. За короткий срок разработал метод определения глюкозидов сердечного действия и выполнил несколько других интересных работ. С апреля 1947 г. он вновь стал работать в отделе биохимии института растениеводства, а в ноябре 1947 г. был избран ученым советом на должность заведующего лабораторией биохимии.

В лаборатории, возглавляемой А. И. Ермаковым (1947 – 1980 гг.), получила дальнейшее развитие частная биохимия растений в связи с селекцией на улучшение пищевых и кормовых свойств культур для решения важнейших проблем производства растительных веществ (белка, масла, углеводов, витаминов, глюкозидов и др.) в растениеводстве.

В течение многих лет главными направлениями работы лаборатории были: изучение потенциальных возможностей повышения содержания и улучшение состава питательных и биологически активных веществ у различных видов культурных растений; выявление закономерностей изменчивости содержания и состава химических веществ под влиянием условий выращивания, в процессе роста, созревания и хранения; разработка и усовершенствование методов биохимического анализа растений.

А. И. Ермаков продолжил лучшие традиции биохимического изучения культурных растений. Он был высоко эрудированным специалистом не только в области биохимии масличных растений, но и по другим культурам и методам их исследований (зерновые, бобовые, овощные, плодовые, кормовые и др.). В лаборатории стали больше уделять внимания изучению состава и качества отдельных химических веществ. Так, в 50-е годы

под руководством и при участии А. И. Ермакова были развернуты работы по исследованию фракционного состава белков у зерновых, бобовых, крупяных, масличных культур и картофеля. Они позволили расширить представление о составе белков этих культур, показали их специфичность по биологической ценности. Первые результаты этой работы опубликованы А. И. Ермаковым и сотрудниками в трудах конференции “Белки в промышленности и сельском хозяйстве” (1952).

Развитие частной биохимии тесно связано с новыми задачами и направлениями селекции. Новое направление в селекции зерновых — улучшение качества белка за счет повышения в нем содержания незаменимых аминокислот — определило в середине 60-х годов изучение вариативности двух “критических” аминокислот — лизина и триптофана у кукурузы, пшеницы, проса и просовидных, зернофуражных и кормовых культур. Установление закономерностей изменчивости белкового комплекса и содержания отдельных незаменимых аминокислот в суммарных белках значительно расширили представления о возможностях “биохимического” улучшения каждой культуры.

В лабораториях биохимии института и его опытных станций широко изучались углеводы (моносахариды, олигосахариды, полисахариды) в плодовых, овощных, зерновых, крупяных, бобовых культурах. С середины 60-х годов в лаборатории стали изучать состав крахмала, фруктозаны, водорастворимые полисахариды у образцов коллекций бобовых, крупяных, зерновых культур в связи с характеристикой их пищевых и технологических свойств. Были выявлены значительные различия между культурами по соотношению амилозы и амилопектина в крахмале. В пределах таких культур, как просо, рис, сорго, кукуруза, также существует большая вариативность по соотношению фракций крахмала. Например, были найдены формы, крахмал которых почти не содержит амилозы. В биохимических лабораториях института, а также Крымской селекционно-опытной станции и Московского отделения ВИР специально исследовались сахара, декстрины, полисахариды у образцов коллекций сахарной кукурузы, овощного гороха, овощной фасоли в связи с возможностью использования для консервирования и селекции на этот признак. Критерием отбора была величина соотношения сахаров к полисахаридам. Результаты исследования, выполненные в этом направлении, обобщены в статье А. И. Ермакова “Потенциальные возможности селекции на качество растительных масел и углеводов семян” (1975).

В послевоенный период в лаборатории расширились исследования биологически активных веществ, обладающих витаминным действием. У овощных культур выявлялись источники накопления каротиноидов, холина, бетаина, бетанина, рутина. С середины 60-х годов впервые стали изучать содержание и состав фенольных соединений у видов, сортов плодовых и ягодных культур: фенолкарбоновых кислот, флавонолов, флаванов разной степени полимеризации. Эти веществ-

ва усиливают действие аскорбиновой кислоты, обладают противолучевым и бактериостатическим действиями. Особенно широко была изучена группа флаванов (свободные катехины, процианидины, олигомерные катехины). Они накапливаются в плодах в разных концентрациях. Межсортовая изменчивость этих признаков оказалась достаточно велика. Были установлены закономерности изменчивости содержания в семенах витаминов: тиамина, рибофлавина, рутина, каротиноидов (крупяные культуры, кукуруза, овощные бобовые) и токоферолов (масличные).

Дальнейшее развитие получили исследования антипитательных (токсичных) веществ семян, плодов, вегетативных органов с целью выявления сортов и форм с минимальным уровнем их накопления: госсипол (хлопчатник), глюкозинолаты (рапс, сурепица), цианогенные глюкозиды (лен, вика, сорго, клевер), сапонины (люцерна), изофлавоны (клевер), танины (сорго). Новым перспективным направлением в изучении генофонда бобовых культур в 70-е годы стало наследование физиологически активных антипитательных веществ зерна — ингибиторов трипсина и химотрипсина, а также лектинов, препятствующих использованию зерна некоторых бобовых в необработанном виде. Исследования выявили закономерности накопления антипитательных веществ у бобовых культур, а также характер зависимости содержания токсических веществ от основных компонентов семян и урожая. Результаты изучения сортовой и внутривидовой варибельности признаков свидетельствуют о перспективности селекционного пути снижения антипитательных веществ у бобовых растений.

В 1962 г. А. И. Ермакову была присуждена ученая степень доктора биологических наук по совокупности опубликованных работ. Доклад (автореферат) на тему “Биохимическое изучение масличных культур в связи с проблемой растительного масла” состоял из нескольких разделов: биохимические особенности семян масличных культур; закономерности изменчивости количества и качества химических веществ в семенах; к теоретическим основам селекции на химический состав; биохимические изменения при созревании и прорастании семян; решение проблемы растительных масел и возможности дальнейшего повышения масличности растений.

С 1969 г. А. И. Ермаков возглавил новое направление в изучении генофонда масличных культур в связи с задачами целенаправленного изменения жирнокислотного состава масла методами селекции — получения масла пищевого или технического использования с улучшенным составом жирных кислот. В исследование было включено видовое разнообразие масличных и технических культур, а также орехоплодных, косточковых и бахчевых. В итоге были выявлены закономерности генотипической и фенотипической изменчивости содержания жирных кислот. Показано, что в пределах сортов имеются биотипы с большим или меньшим содержанием определенных жирных кислот. Эти особен-

ности биотипов передаются по наследству. Географический подход в изучении видов и сортов выявил не только общие закономерности в изменчивости содержания жирных кислот, но и генотипическую обусловленность качественных свойств масла, а также гомеостатичность сортов в отношении химических компонентов. В коллекции ВИР были выявлены источники (образцы) с высоким и низким содержанием жирных кислот для различных направлений селекции на количество и качество масла.

Важной частью работы лаборатории было изучение динамики накопления и превращения веществ в вегетативных частях, плодах и семенах культурных растений при созревании и при послеуборочном дозревании семян, созревании и хранении плодов и овощей. В связи с этим исследовали активность ферментов, ингибиторов и других соединений, участвующих в регуляции процессов обмена в запасающих органах растений.

Мировой генофонд плодовых, овощных, технический и зерновых, бобовых, кормовых растений активно изучался в биохимических лабораториях опытных станций ВИР. К 1980 г. А. И. Ермаков осуществлял научно-методическое руководство биохимическими лабораториями 14 опытных станций института, где ежегодно получали биохимическую оценку около 15 тысяч образцов. Еще в 30-е годы он непосредственно участвовал в организации лабораторий биохимии на Кубанской, Майкопской и других опытных станциях. В послевоенный период под его руководством были созданы биохимические лаборатории на Павловской, Устимовской, Крымской помологической, Приаральской, Дальневосточной и Туркменской опытных станциях. Биохимические лаборатории станций возглавляли опытные специалисты-биохимики: Л. Г. Гомоляко, Л. В. Милованова, Л. Г. Губанова, Н. Т. Куликова, М. И. Ламакина, И. Ф. Гавришева, Л. А. Герштейн, Э. И. Елисеев, Н. И. Шарова, Г. Г. Половянов, Г. А. Гуржнев, А. И. Сирице, В. В. Подвезько, большинство из которых окончили аспирантуру ВИР.

В Ленинграде и на опытных станциях института А. И. Ермаков возглавлял и развивал биохимические исследования растений, связанные с разработкой и апробацией этих методов. Он являлся ответственным редактором и главным автором книги “Методы биохимического исследования растений” (1952, авт. А. И. Ермаков, В. В. Арасимович, М. И. Иконникова, И. К. Мурри). Книга пользовалась популярностью среди биохимиков, а также студентов, аспирантов высших учебных заведений биологического и сельскохозяйственного профилей. Это методическое руководство переиздавалось в 1972 и 1987 гг. А. И. Ермаков являлся инициатором и участником издания “Методических указаний” по анализу различных групп сельскохозяйственных культур (зерновых и масличных; овощных и плодовых; кормовых).

А. И. Ермаковым опубликовано 114 научных работ. В послевоенный период он продолжил издание капитального труда “Биохимия культурных растений”.

При его участии в 1948 г. вышел 8-й том, посвященный проблемам растительных веществ, с его обзорной статьей “Проблема растительных масел”. Он был организатором, научным редактором и соавтором нового издания. В 1958 г. вышел том “Биохимия зерновых культур”, а в 1961 г. — “Биохимия овощных культур”. Эти книги и сейчас являются справочным руководством для биохимиков, растениеводов и селекционеров.

Большое внимание проф. А. И. Ермаков уделял подготовке научных кадров — биохимиков. За период своей деятельности он подготовил 22 кандидата и 3-х докторов наук. Под его руководством всесторонне были изучены генофонды мировой коллекции ВИР многих масличных, овощных, плодовых, кормовых культур и картофеля. Результаты этих исследований послужили ценным источником информации при написании томов Культурной флоры. В послевоенный период до 1980 г. лабораторией подготовлено 48 кандидатов и 5 докторов наук. А. И. Ермаков готовил кадры биохимиков для научных учреждений России, Узбекистана, Киргизии, Азербайджана, Грузии, Украины, Латвии, помогал аспирантам отделов растительных ресурсов, которые нуждались в проведении биохимических анализов по теме диссертационной работы, консультировал будущих кандидатов и докторов наук не только

ВИРа, но и других научных учреждений и работников пищевой промышленности.

А. И. Ермаков был активным участником многих конференций и совещаний. Его доклад на 5-м Международном биохимическом конгрессе (1961) “К теоретическим основам селекции на химический состав” достойно отобразил успехи советских биохимиков в этой области. Он являлся активным членом оргкомитета Первого Всесоюзного биохимического съезда в нашей стране (Ленинград, 1963) и участником последующих биохимических съездов. А. И. Ермаков в течение многих лет был председателем экспертной комиссии по подготовке и изданию научных трудов ВИР, а также редколлегии журнала “Растительные ресурсы”, членом ученых советов ВИР и ВИЗР (Всесоюзный институт защиты растений).

За многолетнюю и плодотворную научно-исследовательскую деятельность А. И. Ермаков был награжден орденом Ленина, тремя медалями ВДНХ и рядом почетных грамот. Его военные заслуги отмечены орденами Красной Звезды и Отечественной войны I степени, медалями “За оборону Ленинграда” и “За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941 – 1945 гг.”.

Ярош Н. П., канд. биол. наук.; Конарев А. В., докт. биол. наук, профессор;
Низова Г. К., канд. биол. наук; Хорева В. И., канд. биол. наук;
Всероссийский НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИКОРАСТУЩИХ ВИДОВ ОВСА ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ВИР ПО СОДЕРЖАНИЮ, ФРАКЦИОННОМУ И ЖИРНОКИСЛОТНОМУ СОСТАВУ МАСЛА

Т. В. Шеленга, С. В. Леонова, А. В. Конарев, И. Г. Лоскутов,
А. Карлосон, С. Стим

Изучено 30 образцов дикорастущих видов *Avena L.* овса разной ploидности и 10 образцов культурного вида овса *A. sativa L.* Установлено, что большим содержанием масла характеризовались образцы гексаплоидного дикорастущего овса. В масле овса тонкослойной хроматографией выявлено 9 фракций, среди которых преобладали полярные липиды и триацилглицеролы: их суммарное содержание составило 93,6%. В масле дикорастущих видов овса в наибольшем количестве выявлены стеариновая, олеиновая и линолевая кислоты (93,1%). Исследования позволили выделить по ряду важных показателей (масличность, низкое содержание ненасыщенных жирных кислот и фракции свободных жирных кислот) дикорастущие гексаплоидные виды овса. В свою очередь, образцы культурного вида имели большую пищевую ценность (содержание витамина F, соотношение ненасыщенных жирных кислот к насыщенным и др.) по сравнению с дикорастущими.

Введение

Овес (*Avena L.*) — одна из самых перспективных и востребованных в настоящий момент сельскохозяйственных культур в нашей стране и за рубежом. Она характеризуется рядом ценных биохимических свойств, позволяющих использовать ее в пищевых,

кормовых и медико-профилактических целях. Для зерна овса характерно высокое содержание масла по сравнению с другими зерновыми культурами. Овес является источником ненасыщенных жирных кислот, β-глюканов, пектинов, витамина E, авенантрамидов и других фенольных антиоксидантов, фитоэстрогенов.

В состав масла овса входят так называемые незаменимые для человека жирные кислоты: линолевая, линоленовая и арахидоновая. Эти кислоты условно объединены в группу под названием “витамин F”. Овес является одним из источников поступления в организм этих биологически активных веществ. Важным показателем пищевой ценности овса является содержание в нем линоленовой кислоты, относящейся к полиненасыщенным омега-3 жирным кислотам, которые играют большую роль в профилактике атеросклероза. Наличие в овсе указанных биологически активных веществ делают необходимым его присутствие в пищевом рационе больных сердечно-сосудистыми, желудочно-кишечными заболеваниями, болезнями обмена веществ, а также в питании здоровых людей.

Потребность иметь продукты, максимально обогащенные биологически активными веществами, положительно воздействующими на здоровье человека, и растущее в связи с этим потребление овса в пищу обуславливают актуальность исследований биохимического состава зерна овса для поиска источников повышенного пищевого и кормового качества. Важными характеристиками качества зерна овса являются содержание масла и его жирнокислотный состав.

Задачей нашего исследования являлось изучение образцов видов овса из коллекции ВИР по содержанию, фракционному и жирнокислотному составу масла. Существует много методов для определения содержания масла, в их числе: классический (по массе сухого обезжиренного остатка), а также с использованием газожидкостной хроматографии (ГЖХ). В нашей стране в основном используется классический метод; зарубежные исследователи чаще применяют метод ГЖХ. В результате возникает сложность при сравнении полученных результатов. Для избежания подобных неудобств мы решили провести определение содержания масла двумя методами: классическим и ГЖХ, после чего сравнить результаты.

Методы исследования

Исследовали 43 образца овса из коллекции ВИР (табл. 1), 33 из них относились к 12 дикорастущим видам с разным уровнем плоидности (2n, 4n и 6n) и 10 к культурному виду *Avena sativa* L.

Количественное содержание масла определялось классическим методом и с помощью ГЖХ. Экстракцию липидов овса проводили смесью метанола с хлороформом (2:1) из очищенных от пленок зерен по методу [1]. Фракционный состав масла изучали с помощью тонкослойной хроматографии. Разделение масла на фракции проводили в течение 20 – 25 мин на стеклянной пластине, покрытой слоем сорбента. В качестве подвижной фазы использовали раствор для разделения нейтральных липидов, состоящий из гексана, диэтилового эфира и уксусной кислоты (35:15:10). В качестве стандарта вместе с образцом наносили раствор, содержащий полярные липиды, моноацилглицеролы, диацилглицеролы,

Таблица 1. Виды овса (*Avena* L.), взятые в исследование

Вид	Плоидность	Количество образцов
Дикорастущие виды овса		
<i>A. hirtula</i> Lag.	2n	3
<i>A. longiglumis</i> Dur.	2n	1
<i>A. clauda</i> Dur.	2n	1
<i>A. canariensis</i> Baum.	2n	2
<i>A. wiestii</i> Steud.	2n	2
<i>A. vaviloviana</i> Mord.	4n	3
<i>A. magna</i> Mur.et Terr.	4n	4
<i>A. barbata</i> Pott.	4n	4
<i>A. wiesti</i> Steud.	4n	1
<i>A. murphyi</i> Ladiz.	4n	2
<i>A. fatua</i> L.	6n	3
<i>A. ludoviciana</i> Dur.	6n	4
<i>A. sterilis</i> L.	6n	3
Культурный вид овса <i>A. sativa</i>		
<i>var. mutica</i>	6n	6
<i>var. inersis</i>	6n	2
<i>var. aurea</i>	6n	2

лы, триацилглицеролы, свободные жирные кислоты и стеролы. Идентификацию полученных фракций проводили визуально в ультрафиолетовом свете после обработки раствором 0,1%-ного йодиола. Жирнокислотный состав масла овса определяли методом ГЖХ. Метилирование проводили 20 мин при 90°C. Идентификацию жирных кислот осуществляли при помощи ГЖХ по времени выхода стандартной смеси жирных кислот. В качестве внутреннего стандарта использовали маргариновую кислоту (C_{17:0}). Исследования проводили на базе ВИР им. Н. И. Вавилова и шведского аграрного университета (Альнарп, Швеция).

Результаты и обсуждение

Показано, что диапазон изменчивости показателей содержания масла был несколько шире у образцов дикорастущих видов овса (от 7,3 до 14,2%) по сравнению с образцами культурного вида (от 6,2 до 10,0%). Также установлено, что у образцов дикорастущих видов овса среднее значение содержания масла (по массе сухого обезжиренного остатка) было выше (9,2%) по сравнению с таковым культурного (7,9%) (рис. 1). У образцов дикорастущих видов наблюдали увеличение содержания масла с увеличением плоидности — от 8,7% у диплоидных до 9,8% у гексаплоидных. Выявлено 7 образцов дикорастущих видов овса с высоким (более 10%) содержанием масла. Самое высокое содержание масла характерно для образцов к-755 (*A. vaviloviana* Mord., 4n) — 13,0% и к-397 (*A. ludoviciana* Dur., 6n) — 14,2%.

Из рис. 1 видно, что значения содержания масла, полученные с помощью ГЖХ в среднем на 1,5% ниже, чем таковые, полученные классическим методом. Также подтверждено, что содержание масла у дикорастущих образцов выше, чем у культурных (7,9 и 5,9% соответственно). Среди дикорастущих видов наиболее высокомасличными оказались гексаплоидные образцы (8,1%). Образцов, у которых содержание масла превы-

шало бы 10%, выявлено не было. По результатам ГЖХ выделено три образца, содержание масла в которых было выше 9%: к-755 (*A. vaviloviana*, 4п) — 9,2%, к-473 (*A. sterilis* L., 6п) — 9,4%, к-2045 (*A. sterilis*, 6п) — 9,3% (табл. 2). Образец к-755 выделен как высокомасличный с помощью ГЖХ и классического метода.

В ходе анализа жирнокислотного состава масла зерна видов овса нами определялись следующие жирные кислоты: пальмитиновая ($C_{16:0}$), стеариновая ($C_{18:0}$), олеиновая ($C_{18:1}$), линолевая ($C_{18:2}$), линоленовая ($C_{18:3}$), арахидиновая ($C_{20:0}$), а также недавно обнаруженная в зерне овса δ -15-гидроксиоктадекадиеновая кислота ($C_{18:2}$) [2]. Содержание минорных жирных кислот в сумме не превышало 1,1% от суммы идентифицированных жирных

кислот. Существенных отличий в жирнокислотном составе у дикорастущих и культурных образцов овса не выявлено (рис. 2). Небольшие различия наблюдались в содержании пальмитиновой, линолевой и δ -15-гидроксиоктадекадиеновой кислот (16,7 и 15,8%, 34,4 и

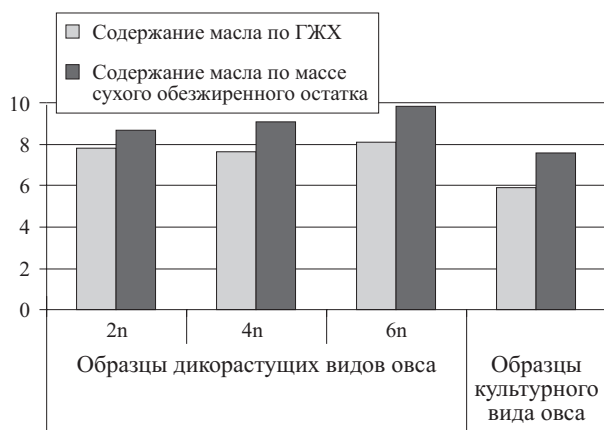


Рис. 1. Характеристика дикорастущих и культурного видов овса по содержанию масла

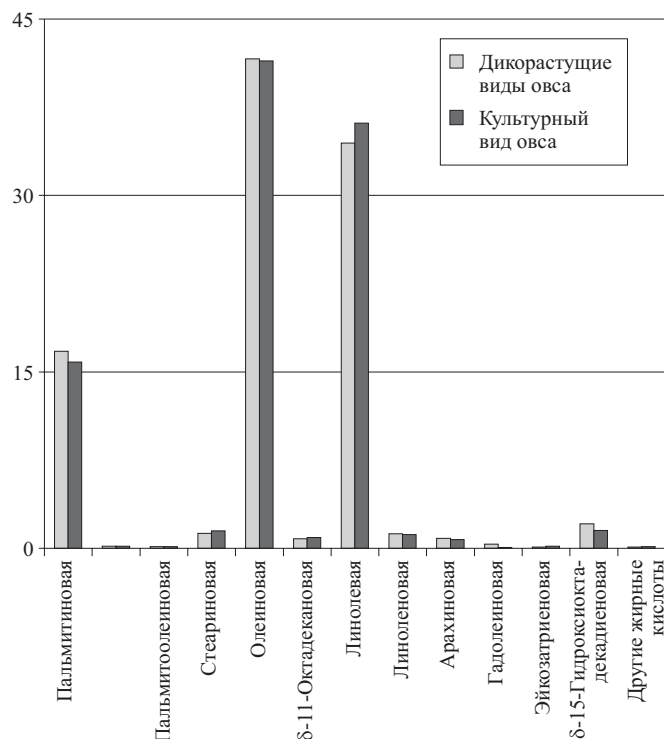


Рис. 2. Жирнокислотный состав масла у образцов культурного и дикорастущих видов овса

Таблица 2. Содержание масла (в %) и жирнокислотный состав (в % от суммы) образцов культурного и дикорастущих видов овса из коллекции ВИР

Состав	Образцы видов овса								
	дикорастущих						культурного		
	диплоидные		тетраплоидные		гексаплоидные		<i>A. sativa</i>		
	<i>A. hirtula</i>	<i>A. wiestii</i>	<i>A. vaviloviana</i>	<i>A. vaviloviana</i>	<i>A. fatua</i>	<i>A. ludoviciana</i>	<i>A. sterilis</i>	<i>v. mutica</i>	<i>v. aurea</i>
№ образцов по каталогу									
	к-3	к-95	к-11	к-755	к-36	к-397	к-473	к-12300	к-11840
*	9,1	11,2	7,5	13,0	7,4	14,2	10,1	10,0	9,7
**	8,6	7,4	7,2	9,2	6,7	8,5	9,4	6,5	8,3
$C_{16:0}$	14,9	19,6	16,6	18,6	15,4	16,8	17,0	18,1	17,0
$C_{16:1}$	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
$C_{16:2}$	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$C_{18:0}$	3,5	1,3	1,1	1,1	1,2	1,7	1,1	1,5	1,8
$C_{8:1}$	39,3	39,4	43,5	39,9	42,2	45,6	34,9	40,3	42,4
δ -11 $C_{18:1}$	0,7	1,1	0,7	1,0	0,9	0,8	0,9	1,1	1,3
$C_{18:2}$	29,1	34,0	33,1	34,6	35,7	31,7	38,8	35,2	32,6
$C_{18:3}$	3,4	1,5	1,4	1,5	1,3	1,0	1,7	0,7	1,9
$C_{20:0}$	1,1	0,9	1,2	1,1	0,8	0,8	0,7	1,0	0,7
$C_{20:1}$	6,2	0,0	0,1	0,0	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0
$C_{20:3}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
δ -15 $C_{18:2}$	1,4	1,8	2,0	1,8	2,0	1,3	4,3	1,5	2,0
Σ минорных ЖК	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,3	0,0
Витамин F	32,4	35,5	34,4	36,1	37,0	32,7	40,5	35,9	34,5
Σ ненасыщенных ЖК / Σ насыщенных ЖК	3,7	3,5	4,3	3,8	4,7	4,2	4,1	3,9	4,0
$\Sigma C_{16:0}, C_{18:1}, C_{18:2}$	83,4	93,0	93,1	93,2	93,2	94,2	90,7	93,6	92,0

* Содержание масла, полученное классическим методом по массе сухого обезжиренного остатка, ** — с помощью ГЖХ; ЖК — жирные кислоты (здесь и в табл. 3).

36,2%, 2,1 и 1,5% соответственно). Дикорастущие виды с разной степенью плоидности также не имели существенных различий в жирнокислотном составе (рис. 3). Наибольшее содержание в масле образцов овса было у ненасыщенных жирных кислот: олеиновой (1,5%) и линолевой (35,3%). Доля насыщенных жирных кислот пальмитиновой и стеариновой составила 16,3 и 1,4% соответственно. Сумма основных жирных кислот: пальмитиновой, олеиновой и линолевой в среднем составляла 93,5% (рис. 2, 3). Максимальное содержание олеиновой кислоты (46,1%) установлено для образца к-1896 (*A. magna* Murph. et Terr.); линолевой кислоты (38,8%) — для образца к-473 (*A. sterilis*); линоленовой (3,4%) — для образца к-3 (*A. hirtula* Lag.); δ -15-гидроксиоктадекадиеновой (4,5%) — для к-31 (*A. fatua* L.).

Суммарное содержание насыщенных жирных кислот выше в масле дикорастущих видов, а ненасыщенных — у культурного вида. Сумма насыщенных жирных кислот выше у тетраплоидных дикорастущих видов (19,3%). Минимальное количество пальмитиновой кислоты (14,1%) зафиксировано у образца к-1914 (*A. canariensis* Baum), стеариновой кислоты (0,3%) — у к-316 (*A. barbata* Pott.) (табл. 2). Среди дикорастущих по сумме ненасыщенных жирных кислот особенно выделялись гексаплоидные виды (80,7%).

Самое высокое содержание пальмитиновой (17,1%) и δ -15-гидроксиоктадекадиеновой (2,4%) кислот установлено для гексаплоидных дикорастущих видов овса, а олеиновой (41,7%) и арахидиновой (1%) — для тетраплоидных. Максимальное содержание стеариновой (1,6%) и линоленовой (1,5%) кислот обнаружено у диплоидных дикорастущих видов. У образцов культурного вида самым высоким было содержание линолевой кислоты — 35,5% (рис. 3).

Содержание витамина F определяли как сумму линолевой и линоленовой кислот. Количество арахидиновой кислоты не учитывали из-за ее низкой концентрации. В образцах культурного вида овса количество витамина F в среднем несколько выше (36,8%), чем у

дикорастущих (35,4%) (рис. 2, 3). Однако максимальное количество витамина F (40,5%) обнаружено у образца к-473 гексаплоидного вида *A. sterilis* (табл. 2).

Одним из важных показателей пищевой ценности масла является показатель отношения содержания ненасыщенных жирных кислот к насыщенным. По этому показателю между дикорастущими и культурными видами существенных различий не наблюдалось (4,2 и 4,3 соответственно). Следует выделить образец к-1914 (*A. canariensis*), у которого этот показатель был равен 5,1, а также образцы к-14498 (*A. sativa* L. var. *inermis*) — 5,2 и к-1986 (*A. murphyi* Ladiz.) — 5,5.

Известно, что фракционный состав масла влияет на качество зерна овса. При помощи тонкослойной хроматографии масло овса было разделено на 9 фракций: полярные липиды (ПЛ), диацилглицеролы-1 (ДАГ-1), диацилглицеролы-2 (ДАГ-2), триацилглицеролы-1 (ТАГ-1), триацилглицеролы-2 (ТАГ-2), триацилглицеролы (ТАГ), свободные жирные кислоты-1 (СЖК-1), свободные жирные кислоты-2 (СЖК-2) и стеринны (Ст) (рис. 4). Наибольшую долю в масле составляли фракции ТАГ и ПЛ — 16,0 и 74,7% соответственно. Остальные фракции присутствовали в количестве от 0,2 (Ст) до 2,2% (ДАГ-2). Средние содержания различных фракций масла у образцов дикорастущих и культурного вида овса практически одинаковы. Однако можно отметить, что максимальные значения содержания ПЛ и ТАГ установлены для дикорастущих тетраплоидных и гексаплоидных видов (16,9 и 76,7% соответственно, рис. 4). Нами показано, что у гексаплоидных и тетраплоидных образцов дикорастущих видов овса показатели содержания масла, полученные классическим методом, самые высокие, поскольку процентное содержание фракций ПЛ и ТАГ у них выше, чем у диплоидных форм (см. выше), что согласуется с литературными данными. По результатам, полученным ГЖХ, вышеуказанная взаимосвязь содержания масла с его фракционным составом справедлива только для гексаплоидных дикорастущих образцов (рис. 1, 2).

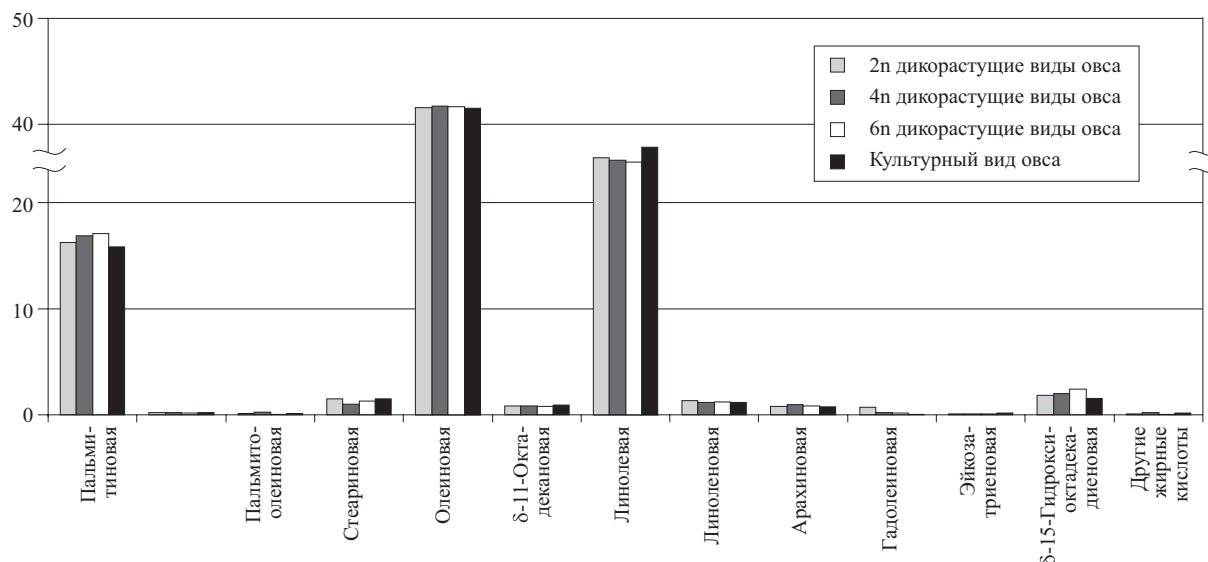


Рис. 3. Характеристика жирнокислотного состава масла видов овса

Содержание СЖК составило у образцов дикорастущих видов 2,9%, у образцов культурного вида — 3,5%. Среди образцов дикорастущих видов этот показатель был наименьшим у гексаплоидных (2,5%) и наибольшим у диплоидных видов (4,5%) (рис. 4). Минимальным содержанием свободных жирных кислот (1,3%) было у образцов к-36 (*A. fatua*) и к-547 (*A. ludoviciana*).

Выделенные фракции исследовали на жирнокислотный состав (табл. 3). Во фракциях жирные кислоты представлены в разном процентном соотношении. Во всех фракциях в большом количестве обнаружены три основные кислоты: пальмитиновая (от 15,2% у ТАГ-1 до 27,7% у СЖК-2), олеиновая (от 21,6% для ПЛ до 44,1% для ТАГ) и линолевая (от 25,1% для ТАГ-2 до 44,4% для Ст). Наиболее высокое процентное содержание линоленовой кислоты выявлено у фракции СЖК-1 (1,9%). Для фракции полярных липидов характерно самое высокое содержание δ -15-гидроксиоктадекадиеновой кислоты (9,5%). У фракций ПЛ и Ст содержание ви-

тамина F выше по сравнению с другими фракциями (45,5 и 45,9% соответственно).

Следует отметить, что разные фракции характеризовались разным отношением ненасыщенных жирных кислот к насыщенным. В среднем оно равнялось 3,3. Максимальным этот показатель был у фракций ДАГ-1, ТАГ-1 и ТАГ (4,1; 4,6 и 4,5 соответственно), а минимальным — у фракции СЖК-2 (2,1) (табл. 3).

Показатели содержания масла, полученные при помощи ГЖХ, ниже, чем таковые, полученные классическим методом. По результатам, полученным обоими методами, большим содержанием масла обладали образцы гексаплоидного дикорастущего овса. С использованием классического метода выделено 7 образцов, содержание масла у которых было выше 10%, в том числе 2 образца с наивысшим содержанием масла: к-755 (*A. vaviloviana*, 4n) — 13,0%, к-397 (*A. ludoviciana*, 6n) — 14,2%.

С использованием ГЖХ выделено три образца, у которых содержание масла было наибольшим (выше 9%):

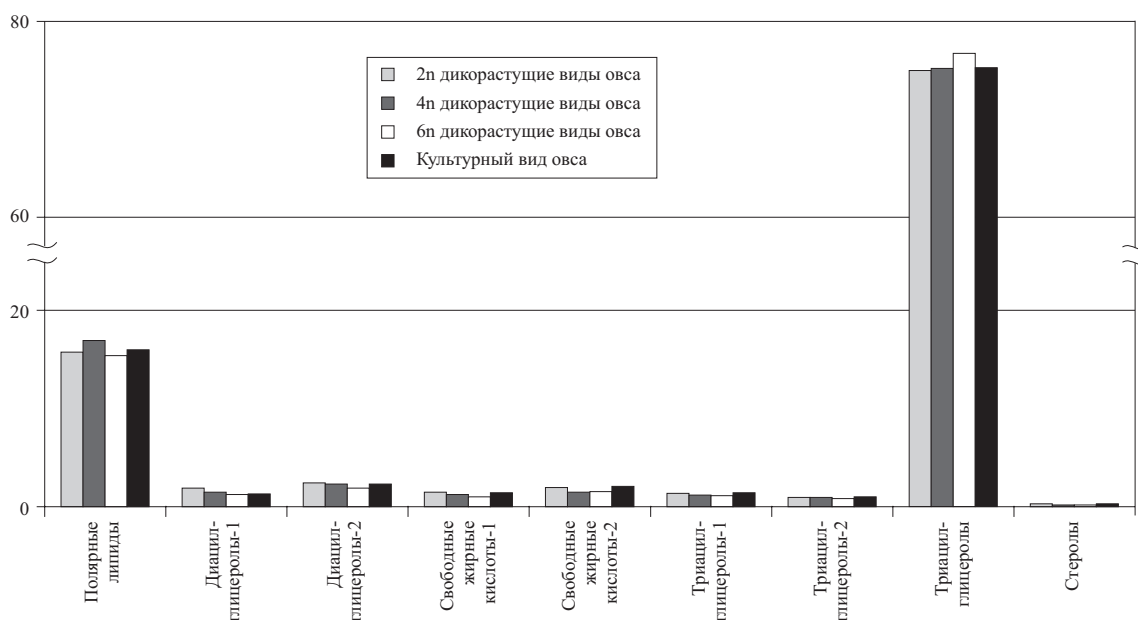


Рис. 4. Фракционный состав масла дикорастущих и культурных образцов овса

Таблица 3. Жирнокислотный состав различных фракций масла овса (в % от суммы)

Жирные кислоты	Полярные липиды	Диацил-глицеролы-1	Диацил-глицеролы-2	СЖК-1	СЖК-2	Триацил-глицеролы-1	Триацил-глицеролы-2	Триацил-глицеролы	Стеролы
C _{16:00}	20,2	16,5	20,9	18,7	27,7	15,2	23,7	16,1	21,8
C _{16:01}	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	1,7
C _{16:02}	0,2	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7	0,7	0	1,1
C _{18:00}	1,1	1,8	2,2	2,3	2,4	1,7	2,9	1,3	3,3
C _{18:01}	21,6	38,5	36,1	33,7	30	42,5	41,4	44,1	22,7
δ -11 C _{18:1}	1	1,2	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	1	0,6
C _{18:02}	43,7	35,7	35,3	36,7	33,2	35,2	25,1	34,7	44,4
C _{18:03}	1,8	1,3	0,9	1,9	0,8	0,8	0,3	1,2	1,5
C _{20:0}	0,5	0,6	0,8	0,8	0,6	0,4	0,9	0,9	0,3
C _{20:1}	0,1	0,6	0,1	0,4	0,3	0,1	0,3	0,3	0,5
C _{20:3}	0,1	1,7	0,6	1,4	1,8	3,5	2,3	0,2	1
δ -15 C _{18:2}	9,5	1,6	1	2,2	0,9	0,5	0	0,2	2,4
Σ минорных ЖК	0,1	0	0,4	0,2	0,5	0	1,1	0	0
Витамин F	45,5	37,0	36,2	38,6	34,0	36,0	25,4	35,9	45,9
Σ ненасыщенных ЖК /	3,1	4,1	3,1	3,4	2,1	4,6	2,5	4,5	2,7
Σ насыщенных ЖК									

к-755 (*A. vaviloviana*, 4n) — 9,2%; к-473 (*A. sterilis*, 6n) — 9,4%; к-2045 (*A. sterilis*, 6n) — 9,3% (табл. 2). Образец к-755 выделился как высокомасличный при использовании обоих методов. Разницу в результатах можно объяснить тем, что методом ГЖХ определяется “чистое” масло, тогда как классическим методом определяется сумма всех сопутствующих жирорастворимых компонентов (воск, стерины, стеролы, каротиноиды, витамины Е, К и другие жирорастворимые вещества). Поэтому показатели, полученные последним способом, выше. Для сравнения полученных данных по содержанию масла с данными других исследователей и для выделения исходного материала для селекции на повышение масличности овса необходимо применять оба метода (ГЖХ и метод Сокслета).

Следует отметить, что данные по содержанию масла, полученные нами классическим методом, а также с помощью ГЖХ, несколько отличались от таковых других авторов [3 – 5], использовавших те же методики. С помощью тонкослойной хроматографии в масле овса выделено 9 фракций, среди которых преобладали ПЛ и ТАГ: их суммарное содержание составило 93,6%, что согласуется с данными [5, 6].

Одним из факторов, влияющих на вкус и качество зерна при хранении, является содержание СЖК в масле овса, поэтому особый интерес представляют образцы с наименьшей долей этой фракции: к-36 (*A. fatua*) и к-547 (*A. ludoviciana*). В наших опытах содержание этой фракции оказалось несколько ниже, чем в работах [5, 6]. По нашим данным, самым низким содержанием СЖК отличались дикорастущие гексаплоидные образцы.

Каждая фракция имела характерный для нее жирнокислотный состав. Наибольшее содержание δ -15-гидроксиоктадекадиеновой кислоты было отмечено у фракции ПЛ (9,5%), пальмитиновой — у фракции СЖК-2 (27,7%), олеиновой — у ТАГ (44,1%), линолевой — у Ст (44,4%), линоленовой — у СЖК-1 (1,9%). Фракциями, наиболее богатыми витамином F, оказались ПЛ и Ст (45,5 и 45,9% соответственно). Фракция ТАГ-1 обладала оптимальным соотношением ненасыщенных жирных кислот к насыщенным (4,6).

В жирнокислотном составе масла овса стеариновая, олеиновая и линолевая кислоты составили в среднем 93,1%, что не противоречит ранее полученным данным [5]. Содержание насыщенных жирных кислот у дикорастущих тетраплоидных и гексаплоидных образцов было наиболее высоким, поэтому они могут выдерживать длительное хранение. Больше количество витамина F содержали образцы культурного вида. Они также выгодно отличались от образцов дикорастущих видов овса по соотношению содержания ненасыщенных

жирных кислот к насыщенным, что является важным показателем качества масла овса и пищевой ценности его зерна. Оптимальным оно было для образцов к-1914 (*A. canariensis*) (5,1), к-1986 (*A. murphyi*) (5,5) и к-14498 (*A. sativa* L. var. *inermis*) (5,2).

Особый интерес имеют показатели содержания линолевой и линоленовой кислот как представителей ряда омега-3 жирных кислот. У отдельных образцов содержание линолевой кислоты достигало 38,8% (к-473, *A. sterilis*), линоленовой кислоты — 3,4% (к-3, *A. hirtula*). Содержание линоленовой кислоты, по нашим данным, было выше, чем в работе [7]. В исследуемых образцах средние значения витамина F не превышали таковых в работе [8]. Отдельные образцы имели высокие значения витамина F (к-473, *A. sterilis* — 40,5%).

Заключение

Исследования позволили выделить гексаплоидные виды среди дикорастущих видов овса по ряду важных показателей: масличность, низкое содержание ненасыщенных жирных кислот и фракции СЖК. В свою очередь, образцы культурного вида имели большую пищевую ценность по сравнению с дикорастущими. Таким образом, среди образцов мировой коллекции ВИР можно выделить источники различных биохимических признаков повышенного качества зерна овса: высокая масличность, оптимальное соотношение ненасыщенных жирных кислот к насыщенным, повышенное содержание биологически активных веществ и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bligh-Dyer. Neutral lipid extraction by the method of Bligh-Dyer // *Can. J. Biochem. Physiol.* — 1959. — V. 37. — P. 922.
2. Hamberg M., Hamberg G. 15(R)-Hydroxylinoleic acid, an oxylipin from oat seeds // *Photochemistry.* — 1996. — V. 42, № 3. — P. 729 – 732.
3. Лоскутов И. Г., Чмелева З. В. Агробиологическая и биохимическая характеристика дикорастущих образцов овса // *Сб. научн. тр. по прикл. бот., ген. и сел.* — 1997. — Т. 151. — С. 98 – 106.
4. Banas A., Dahlqvist A. et al. Accumulation of storage products in oat during kernel development // *Biochem. Soc. Transact.* — 2000. — V. 28, part 6. — P. 705 – 707.
5. Zhou M., Robards K., et al. Oat lipids // *JAOCs.* — 1999. — V. 76, № 2. — P. 159 – 169.
6. Zhou M. X., Holmest M. G., et al. Fatty acid composition of lipids of Australian oats // *Cereal Sci.* — 1998. — V. 28. — P. 311 – 319.
7. Welch R. W., Leggett J. M. Nitrogen content, oil content and oil composition of oat cultivars (*A. sativa*) and wild *Avena* species in relation to nitrogen fertility, yield and partitioning of assimilates // *Cereal Sci.* — 1997. — V. 26. — P. 105 – 120.
8. Низова Г. К., Родионова Н. А. Качество голозерных сортов овса на Северо-Западе Нечерноземной зоны РСФСР // *Труды по прикл. бот., ген. и сел.* — 1986. — Т. 107. — С. 40 – 45.

Шеленга Т. В., канд. биол. наук; Леонова С. В.;

Конарев А. В., докт. биол. наук, профессор;

Лоскутов И. Г., докт. биол. наук, профессор;

Всероссийский НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова

Карлсон А., докт. биол. наук; Стим С., докт. биол. наук, профессор;

Шведский сельскохозяйственный университет, г. Альнарп

БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОРТОВ ПРОСА В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ КАЧЕСТВА ЗЕРНА

В. И. Хорева, А. Ф. Курцева

Дана биохимическая характеристика 20 сортам проса, выращенным в 1988 – 1990 гг. в различных климатических зонах России, Белоруссии, Украины и Казахстана (всего 11 пунктов) по содержанию белка, крахмала, масла. Показана изменчивость изученных показателей качества пшена в зависимости от сорта, пункта и года выращивания. Выделены сорта для каждой зоны с повышенным содержанием белка, крахмала, масла, а также сорта, устойчиво сохраняющие эти признаки при выращивании в разных климатических условиях. Отмечено влияние хранения зерна на содержание каротиноидов.

Введение

С глубокой древности у многих народов Азии и Европы просо (*Panicum miliacetum* L.) было одним из важнейших пищевых продуктов. В России просо и до настоящего времени — одна из основных крупяных культур, ценность которой определяется биологическими, технологическими и биохимическими свойствами.

Просо — достаточно урожайное, засухоустойчивое растение. Зерно сортов с низкой пленчатостью легко обрушивается и имеет большой выход крупы — пшена. Кулинарные свойства пшена и пищевые качества продуктов, изготавливаемых из него, во многом определяются химическим составом. Так, пшено содержит белка (14,2%) больше, чем рисовая, перловая, манная и кукурузная крупы. Крахмала в нем содержится также больше (70,0%), чем в перловой и особенно в овсяной крупах. По содержанию жира (2,4 – 3,1%) пшено уступает только овсяной крупе [1, 2].

В России установлены повышенные закупочные цены на зерно сортов проса, которые включены в список наиболее ценных по качеству зерна (ГОСТ-229883–78).

В настоящее время из-за сокращения посевов кукурузы (после распада СССР районы ее возделывания резко сократились) большее внимание стали уделять фуражному зерну проса. Можно считать новым направлением использование проса в составе комбикормов (до 30%) в птицеводстве. Перспективно просо и для производства крахмала, особенно амилопектинного. В связи с этим в селекционных программах и стоит вопрос об улучшении качества зерна проса.

По литературным данным, химический состав проса отличается большой изменчивостью. Так, в зависимости от генотипа и условий выращивания количество белка в зерне меняется от 8,8 до 23,0% [3 – 5]. В значительном диапазоне могут изменяться и другие показатели качества. Известно также, что изучение географической изменчивости различных признаков позволяет дать более глубокую и разностороннюю характеристику сортовому разнообразию мировой коллекции ВИР для более эффективного ее использования в практической селекции.

В связи с этим мы проследили за изменчивостью химического состава проса, выращенного в 11 различ-

ных климатических зонах прососеяния: в России — Нечерноземная зона (ВНИИ зернобобовых культур — ВНИИЗБК, Орловская область), Центрально-Черноземная полоса (НИИСХ Центрально-Черноземной полосы — НИИСХЦЧП им. В. В. Докучаева, Воронежская область и Екатерининская опытная станция ВИР (ЕОС ВИР), Тамбовская область), Поволжье (НИИСХ Юго-Востока, Саратовская область), Южный Урал (Оренбургский НИИСХ, Оренбургская область), Алтайский край (Алтайский НИИ земледелия и селекции — АНИИЗиС), Западная Сибирь (СибНИИСХоз, Омская область), а также в Белоруссии (Брестская область), на Украине (Харьковская и Полтавская области) и в Казахстане (Акмолинская область).

Методы исследования

Материалом для исследования послужили вновь поступающие в коллекцию образцы, районированные и перспективные сорта проса, а также источники и доноры хозяйственно- ценных признаков (табл. 1). Из нового поступления были включены три мутантные линии (кк-9957, 9958, 9987), полученные из Украины как доноры устойчивости к меланозу. Особый интерес представляли пять образцов проса, выделенные как источники и доноры ярко-желтого цвета пшена. Имеются сведения о прямой корреляции желтой окраски зерна с содержанием каротиноидов. Вопросы изменчивости этого признака мало изучены. В сформированный для изучения набор из 20 образцов проса были также включены источники и доноры по таким важным признакам, как продуктивность зерна и зеленой массы, засухо- и солеустойчивость, комплекс высоких технологических свойств зерна. Семена каждого сорта, переданные во все пункты для изучения, были одной репродукции. Опытные посева проводили в 1988 – 1990 гг.

Погодные условия в зонах и в разные годы изучения были различны. Например, обеспеченность растений осадками менялась от засушливого 1988 г. до влажного и прохладного 1990 г. и т. д. Это позволило оценить сорта не только в зависимости от почвенных и климатических особенностей, но также и по их реакции на различные факторы среды: влажность и температуру; проследить изменчивость некоторых количественных и качественных признаков, выделить ценный исходный материал.

Таблица 1. Сорты проса, включенные в исследование

№ по каталогу ВИР	Сорт	Происхождение	Источник или донор по признаку
9989	Барнаульское 80	Россия, Алтайский край	Комплекс хозяйственно-ценных признаков
9684	Орловский карлик	Россия, Орловская обл.	—"
9757	Саратовское 6	Россия, Саратовская обл.	—"
9500	Устимовское 8	Украина, Полтавская обл.	—"
9735	Харьковское 86	Украина, Харьковская обл.	—"
9642	Харьковское кормовое	—"	Высокая продуктивность зеленой массы
9957	М-75-7224	—"	Устойчивость к меланозу
9958	М-77-6296	—"	—"
9987	М-78-1854	—"	—"
9887	Линия 665	Россия, Воронежская обл.	—"
4694	Местное	Украина, Сумская обл.	Ярко-желтый цвет зерна
403	—"	Россия, Липецкая обл.	—"
6223	—"	Россия, Ростовская обл.	—"
5180	—"	Украина, Запорожская обл.	—"
8663	—"	Узбекистан	—"
9489	Mezohegyesi	Венгрия	—"
9604	Каменно-степное	Россия, Воронежская обл.	Комплексной устойчивости к засухе и засолению почвы
9505	Местное	Афганистан	—"
9701	Субфлявум 443	Россия, Омская обл.	—"
9837	Белгородское 2	Россия, Белгородская обл.	—"

Количество белка, крахмала и масла определяли методом инфракрасной спектроскопии на приборе Infracomatic 8620 (Швеция). Данные для построения калибровочных кривых получены на приборе Kjeltac Auto 1030 Analyzer (Швеция) по методу Кьельдаля для белка, поляриметрическим методом Эверса — для крахмала, по массе сухого обезжиренного остатка с использованием аппарата Сокслета — для масла [6]. Сумму каротиноидов определяли извлечением их насыщенным водородом [7].

Результаты и обсуждение

Результаты трехлетнего изучения в пунктах с различными почвенными и климатическими условиями позволили установить, что содержание белка в зерне проса значительно изменяется в зависимости от сортовых особенностей, места выращивания и погодных условий, причем в зависимости от зоны и погодных условий оно изменяется по общим закономерностям,

Таблица 2. Изменчивость биохимических показателей качества зерна проса в зависимости от места и года выращивания

Место и годы выращивания	Показатель	Белок (Nx6,25), %	Крахмал, %	Масло, %
Орел, ВНИИЗБК (1988 – 1990)	Мин.	10,22	61,81	4,4
	Макс.	19,39	71,87	6,8
	*	15,23	67,92	5,4
Воронеж, НИИСХ ЦЧП им. В. В. Докучаева (1988 – 1990)	Мин.	10,35	67,25	4,6
	Макс.	18,03	71,23	6,3
	*	14,18	68,37	5,4
Тамбов, ЕОС ВИР (1988)	Мин.	14,37	66,65	4,6
	Макс.	20,61	71,37	5,8
	*	17,92	68,82	5,0
Саратов, НИИСХ Юго-Востока (1989)	Мин.	12,70	65,00	5,4
	Макс.	18,84	68,17	6,0
	*	16,49	66,67	5,7
Оренбург, Оренбургский НИИСХ (1988 – 1990)	Мин.	10,26	62,22	4,5
	Макс.	17,73	71,15	6,1
	*	14,21	68,00	5,1
Барнаул, АНИИЗС (1988 – 1989)	Мин.	11,96	63,03	4,7
	Макс.	20,81	70,28	5,7
	*	16,51	67,47	5,1
Омск, СибНИИСХоз (1988, 1990)	Мин.	10,31	62,87	4,6
	Макс.	19,50	71,57	6,0
	*	15,18	68,26	5,2
Брест, совхоз-техникум (1988 – 1990)	Мин.	11,52	63,38	4,8
	Макс.	18,40	69,57	6,0
	*	14,44	66,74	5,4
Полтава, Устимовская ОС (1988 – 1989)	Мин.	11,66	65,47	4,9
	Макс.	18,77	70,13	6,1
	*	14,54	68,28	5,5
Харьков, Укр. НИИРС (1988)	Мин.	10,39	67,50	4,6
	Макс.	15,26	70,85	5,7
	*	12,94	68,78	5,1
Акмата, Казах. НИИЗХ (1988 – 1990)	Мин.	10,00	64,04	4,3
	Макс.	18,81	72,78	6,5
	*	15,00	68,56	5,1

* Среднее значение признака при числе образцов, равном 20.

характерным для всех хлебных и крупяных культур: содержание белка повышается при продвижении посевов с севера на юг и с запада на восток и в засушливые годы при выращивании в одном пункте (табл. 2, 3). Так, в 1989 г. зерно с повышенным содержанием белка (16,5%) сформировалось в условиях Поволжья (Саратов) и низким (13,5%) в условиях Белоруссии (Брест). В то же время самое низкое содержание белка (12,7%) в 1989 г. зафиксировано в Казахстане (Акмата), тогда как в другие годы (1988 и 1990 гг.) в этом же пункте — 16,3 и 16,0% соответственно. Низкое содержание белка в 1989 г. было вызвано метеорологическими условиями, сложившимися в период вегетации и неблагоприятными для синтеза белка.

Амплитуда изменчивости содержания белка по зонам четко прослеживается в течение 3-х лет и в среднем по сортам составила в 1988 г. 4,6%, в 1989 г. — 3,8%, а в прохладном и влажном 1990 г. — 1,2%. Изменчивость же белка в зависимости от погодных условий года в зонах выращивания была от 0,4% в Западной Сибири (Омск), где в 1988 и 1990 гг. стояла сухая, жаркая погода, благоприятная для синтеза белка, и 3,6% в Казах-

Таблица 3. Изменчивость биохимических показателей качества зерна проса в зависимости от места и года выращивания

Место	Год	Содержание, %		
		белка (Nx6.25)	крахмала	масла
Орел, ВНИИЗБК	1988	15,7	69,0	5,1
	1989	14,6	68,2	5,2
	1990	15,4	66,5	5,9
Воронеж, НИИСХ ЦЧП им. Докучаева	1988	13,8	68,0	4,9
	1989	14,6	68,1	5,7
	1990	14,8	67,1	5,7
Тамбов, ЕОС ВИР	1988	17,2	68,8	5,0
	1989	16,5	66,7	5,7
Саратов, НИИСХ Юго-Востока	1988	12,6	67,4	5,0
	1989	14,8	69,2	5,0
	1990	15,2	67,5	5,5
Оренбург, Оренбургский НИИСХ	1988	17,0	66,7	5,1
	1989	16,0	68,3	4,9
Барнаул, АНИИЗС	1988	15,0	68,3	4,9
	1990	15,4	68,3	5,6
Омск, СибНИИСХоз	1988	14,0	67,8	5,3
	1989	13,5	67,3	5,2
	1990	15,8	65,0	5,8
Брест, совхоз-техникум	1988	14,0	68,3	5,4
	1989	15,1	68,2	5,6
	1990	13,0	68,8	5,1
Полтава, Устимовская ОС	1988	16,3	68,1	5,0
	1989	12,7	70,4	4,9
Харьков, Укр. НИИРС	1988	16,0	67,2	5,7
	1989	16,0	67,2	5,7

стане, где 1989 г. отмечается как неблагоприятный для формирования зерна и его качества (табл. 3).

Содержание белка в зерне в зависимости от сорта колебалось от 10,0 до 20,8%, а в зависимости от условий выращивания (разные годы одного пункта) — 8,8 – 9,2% (табл. 2). На фоне резко различающихся условий выращивания (по годам и пунктам) следует отметить определенное влияние генотипа. Устойчиво высокое содержание белка по годам и в различных зонах имели местные образцы Запорожской (к-5180), Липецкой (к-403) и Сумской областей (к-4694), Узбекистана (к-8663), сорт Орловский карлик (к-9684), Линия Субфлявум 443 из Омска (к-9701) (табл. 4). Данные сорта, наряду с другими ценными селекционными признаками (табл. 1), являются и источниками высокого содержания белка.

Основным источником энергии в обычном пищевом рационе человека и животных являются углеводы, большая часть которых состоит из крахмала. В зерне проса количество его в зависимости от сорта и условий выращивания составляет 50,7 – 75,0% [3, 5]. Содержание основных компонентов крахмала — амилозы и амилопектина — характеризует качество крахмала и определяет характер его использования. Повышенное количество амилозы придает каше рассыпчатость. Амилопектинный крахмал широко используется в текстильной, пищевой, бумажной, горнодобывающей, металлургической и химической промышленности. По данным нашей лаборатории [4], в зависимости от сорта содержание амилозы в зерне проса колеблется от 0 до 21,0%. Изучение 422 позднеспелых коллекцион-

Таблица 4. Характеристика сортов проса, выделившихся по содержанию белка в разных пунктах (среднее за годы выращивания)

№ по каталогу ВИР	Сорт	Содержание, %		
		белка (Nx6.25)	крахмала	масла
<i>Орел, ВНИИЗБК (1988 – 1990 гг.)</i>				
9701	Субфлявум 443	18,84	68,76	5,2
9887	Линия 665	17,41	65,05	5,6
5180	Местный из Запорожской обл.	17,32	67,63	5,6
403	Местный из Липецкой обл.	16,90	60,10	5,6
9489	Mezohegyesi	16,04	68,12	5,9
6223	Местный из Ростовской обл.	15,55	69,31	5,1
<i>Воронеж, НИИСХ ЦЧП им. Докучаева (1988 – 1990 гг.)</i>				
9684	Орловский карлик	16,43	68,04	5,2
<i>Тамбов, ЕОС ВИР (1988 г.)</i>				
403	Местный из Липецкой обл.	20,17	69,93	5,3
4694	Местный из Сумской обл.	19,79	70,43	5,1
9701	Субфлявум 443	18,66	68,94	4,9
8663	Местный из Узбекистана	18,65	69,28	4,9
5180	Местный из Запорожской обл.	18,60	68,98	5,1
9489	Mezohegyesi	18/56	69,89	5,4
<i>Саратов, НИИСХ Юго-Востока (1989 г.)</i>				
9701	Субфлявум 443	18,84	66,68	5,6
5180	Местный из Запорожской обл.	17,70	66,05	5,9
8663	Местный из Узбекистана	17,58	66,40	5,8
9489	Орловский карлик	17,26	68,17	5,4
<i>Оренбургский НИИСХ (1988 – 1990 гг.)</i>				
9505	Местный из Афганистана	15,67	66,33	5,6
9958	М-77 – 6296	15,53	67,82	5,2
9701	Субфлявум 443	14,86	67,89	5,2
<i>Барнаул, АНИИЗС и С (1988 – 1989 гг.)</i>				
4694	Местный из Сумской обл.	18,81	68,12	5,6
403	Местный из Липецкой обл.	18,62	67,90	5,6
9500	Устимовское 80	18,12	67,68	4,9
9887	Линия 665	17,91	67,62	5,3
9701	Субфлявум 443	16,80	68,00	5,0
<i>Омск, СибНИИСХоз (1988, 1990 гг.)</i>				
8662	Местный из Узбекистана	18,75	68,87	5,4
9489	Mezohegyesi	17,30	67,41	5,5
9701	Субфлявум 443	17,20	68,38	–
9684	Орловский карлик	16,44	68,50	5,1
<i>Брест, совхоз-техникум (1988 – 1990 гг.)</i>				
403	Местный из Липецкой обл.	16,18	66,96	5,9
<i>Полтава, Устимовская оп.ст. (1988 – 1989 гг.)</i>				
9505	Местный из Афганистана	18,03	65,39	5,9
403	Местный из Липецкой обл.	16,38	67,66	6,0
8663	Местный из Узбекистана	16,33	68,79	5,4
5180	Местный из Запорожской обл.	14,92	68,61	5,4
<i>Харьков, Укр. НИИРС и Г (1988 г.)</i>				
5180	Местный из Запорожской обл.	15,26	68,70	5,4
9887	Линия 665	14,70	67,50	5,0
403	Из Липецкой обл.	14,31	68,68	5,7
<i>Акмата, ВНИИЗХ им. Бараева (1988 – 1990 гг.)</i>				
403	Местный из Липецкой обл.	16,47	68,34	5,4
8663	Местный из Узбекистана	15,71	68,93	4,9
5180	Местный из Запорожской обл.	15,65	58,58	5,3

Таблица 5. Сорты проса, выделившиеся по признаку “высокое содержание масла”*

№ по каталогу ВИР	Сорт	Масло, %	№ по каталогу ВИР	Сорт	Масло, %
	<i>Орел, ВНИИЗБК (1988 – 1990 гг.)</i>			<i>Омск, СибНИИСХоз (1988, 1990 гг.)</i>	
9489	Mezohegyesi	5,9	4694	Местный из Сумской обл.	5,7
403	Местный из Липецкой обл.	5,6	9887	Линия 665	5,6
9887	Линия 665	5,6	9505	Местный из Афганистана	5,6
5180	Местный из Запорожской обл.	5,6	9489	Mezohegyesi	5,5
	<i>Воронеж, НИИСХ ЦЧП им. В.В.Докучаева (1988 – 1990 гг.)</i>		8663	Местный из Узбекистана	5,4
9489	Mezohegyesi	5,9		<i>Брест, совхоз-техникум (1988 – 1990 гг.)</i>	
9505	Местный из Афганистана	5,8	9489	Mezohegyesi	6,0
4694	Местный из Сумской обл.	5,8	403	Местный из Липецкой обл.	5,9
9987	М-78-1854	5,6	4694	Местный из Сумской обл.	5,7
	<i>Тамбов, ЕОС ВИР (1988 г.)</i>		9987	М-78-1854	5,5
9505	Местный из Афганистана	5,8		<i>Полтава, Устимовская ОС (1988 – 1989 гг.)</i>	
9987	М-78-1854	5,4	9505	Местный из Афганистана	6,0
9489	Mezohegyesi	5,4	403	Местный из Липецкой обл.	6,0
403	Местный из Липецкой обл.	5,3	9489	Mezohegyesi	6,0
4694	Местный из Сумской обл.	5,1	4694	Местный из Сумской обл.	5,8
	<i>Саратов, НИИСХ Юго-Востока (1989 г.)</i>		9987	М-78-1854	5,8
4694	Местный из Сумской обл.	6,0	9958	М-77-6296	5,7
9489	Mezohegyesi	6,0	9887	Линия 665	5,6
9987	М-78-1854	6,0		<i>Харьков, Укр. НИИРС и Г (1988 г.)</i>	
403	Местный из Липецкой обл.	5,9	403	Местный из Липецкой обл.	5,7
9642	Харьковское кормовое	5,9	9505	Местный из Афганистана	5,6
5180	Местный из Запорожской обл.	5,9	9489	Mezohegyesi	5,6
8663	Местный из Узбекистана	5,8	9987	М-78-1854	5,4
	<i>Оренбургский НИИСХ (1988 – 1990 гг.)</i>		5180	Местный из Запорожской обл.	5,4
9489	Mezohegyesi	5,7	4694	Местный из Сумской обл.	5,3
9505	Местный из Афганистана	5,6		<i>Акмата, ВНИИЗХ им. Бараева (1988 – 1990 гг.)</i>	
9987	М-78-1854	5,5	9489	Mezohegyesi	5,7
	<i>Барнаул, АНИИЗ и С (1988 – 1989 гг.)</i>		9505	Местный из Афганистана	5,6
9505	Местный из Афганистана	5,6	403	Местный из Липецкой обл.	5,4
4694	Местный из Сумской обл.	5,6	4694	Местный из Сумской обл.	5,3
9987	М-78 – 1854	5,5	5180	Местный из Запорожской обл.	5,3
9887	Линия 665	5,3			
5180	Местный из Запорожской обл.	5,2			

* Приведены средние данные по содержанию масла за годы выращивания в разных регионах.

ных образцов из Китая и Приморского края позволило выделить несколько форм восковидного (клейкого) проса, крахмал которого полностью состоит из амилопектина [8].

По данным наших исследований, различия в содержании крахмала у сортов проса в зависимости от погодных условий достигали 3,2% (Акмата, Казахстан), а от зоны возделывания — 3,35 – 10,06% (табл. 2, 3). Межсортная изменчивость оказалась значительнее (10,97%). Для более широкого использования могут быть рекомендованы сорта Барнаульское 80 (к-9989), Саратовское 6 (к-9756), Каменно-Степное (к-9604) и местный образец из Сумской области (к-4694), у которых повышенное содержание крахмала (67,6 – 71,3%) отмечается во многих зонах изучения.

Наряду с белками и углеводами качество зерна определяется количеством липидов (масла). Просо, как и другие злаковые культуры, отличается невысоким содержанием масла. Его межсортная изменчивость составляет 2,95 – 5,18% [3]. В составе масла обнаружены насыщенные жирные кислоты: пальмитиновая (5,8 – 25,0%), стеариновая (1,3 – 14,7%), арахидовая (0,2 – 6,6%), бегеновая (0,2 – 1,2%); ненасыщенные: олеиновая (9,0 – 30,6%), линолевая (38,2 – 67,0%) и линоленовая (0 – 10,0%). Основной жирной кислотой является линолевая. Содержащиеся в растительных маслах линолевая и линоленовая кислоты в животном организме синтезироваться не могут. Поэтому для человека и животных они являются незаменимыми — их называют витамином F.

Насыщенные жирные кислоты физиологической активностью не обладают и представляют запасное вещество энергетического назначения [9, 10]. В работах этих и других авторов [11] отмечается, что жирнокислотный состав масла специфичен для каждого семейства, рода и даже вида растений, но на количественное содержание жирных кислот растительных масел оказывают влияние климатические условия произрастания. Холодный климат (по сравнению с более теплым) обуславливает накопление в семенах растений масла с большим количеством присущих ему сильно ненасыщенных кислот.

По вопросам, касающимся содержания и качества масла у разных сортов проса, сведения в литературе крайне ограничены. Так, из генофонда ВИР по этим признакам проанализировано лишь небольшое количество образцов. Поэтому в задачу наших исследований входило дать сравнительную характеристику сортам проса по содержанию масла, проследить их изменчивость в зависимости от климатических условий произрастания и метеорологических факторов.

У изученных нами образцов проса содержание масла в зерне колебалось в среднем от 5,0 до 5,7%. О малой изменчивости этого признака в зависимости от зоны выращивания и погодных условий говорят данные, представленные в табл. 2 и 3. Максимальный диапазон изменчивости в среднем по сортам и зонам 0,7%, а в зависимости от погодных условий (разные годы одного пункта) — 0,8%. Диапазон изменчивости отдельно по

каждому сорту в зависимости от зоны выращивания составил всего 0,2 – 1,2%, а от условий года — 0,5 – 1,2%. Так, наиболее высокое содержание масла — 5,4 – 6,0% (стабильно в разные годы и в разных условиях) имели образцы из Афганистана (к-9505), Венгрии (к-9489), Украины: линия М-78 – 1854 (к-9987), местные образцы Липецкой (к-403), Сумской (к-4694) и Запорожской областей (к-5180). Эти сорта проса наиболее ценны для селекционного улучшения качеств (табл. 5).

Среди других показателей, определяющих биологическую (пищевую и кормовую) ценность проса, важное значение имеют каротиноиды — каротины и ксантофиллы (провитамины А). Они содержатся в семенах проса, желтой кукурузы, сорго и придают им желтую окраску разных оттенков. Зерно с такой пигментацией отличается высокими вкусовыми качествами. Показано, что степень “желтизны” зерна коррелирует с количеством каротиноидов: сорта с высоким их содержанием имеют ярко-желтое зерно [12]. Сортовая изменчивость по сумме каротиноидов в зерне проса составляет 3,8 – 13,4 мг/кг [12, 13]. По химической природе каротиноиды — соединения сильно ненасыщенные, они легко окисляются и обесцвечиваются, что проявляется при хранении и переработке зерна [14]. По этому вопросу полученные нами данные вполне согласуются с литературными [12 – 14]. Так, содержание каротиноидов в пшене было выше у форм проса, цветочные пленки которых имели более яркую окраску. Используемые в ВНИИСХ Юго-Востока при скрещивании доноры “яркости” ядра — местный образец из Липецкой области (к-403) каштановой окраски и краснозерный образец Сумской области (к-4694) — имели повышенное содержание каротиноидов (7,4 – 6,9 мг/кг). По количеству каротиноидов определенные различия были получены между сортами с красной (8,9 мг/кг) и желтой (7,6 мг/кг) окраской зерна (при анализе образца из Запорожской области — к-5180, в составе которого имелось зерно двух цветов). Это согласуется с выводами [15 – 17] о существовании зависимости окраски ядра и содержании каротиноидов от окраски и толщины цветочных пленок: темные толстостенные цветочные пленки защищают каротиноиды от окисления и обесцвечивания.

Как уже отмечалось выше, каротиноиды легко окисляются при хранении зерна, что и повлияло на результаты наших анализов. Освобожденное от цветочных пленок зерно проса поступило к нам на анализ после длительного хранения и соответственно содержало каротиноидов в два раза ниже, чем при определении сразу же после обрушивания. Так, например, анализ зерна проса, выращенного на Устимовской опытной станции, показал, что образец из Липецкой области (к-403) содержал каротиноидов до хранения 7,4 мг/кг, после хранения — 3,4 мг/кг; к-4694 — 6,9 и 3,9 мг/кг соответственно; к-5180 — 8,2 и 4,1 мг/кг соответственно.

В силу таких обстоятельств нам не удалось проследить за изменчивостью содержания каротиноидов под влиянием условий выращивания, а полученные данные подтвердили, что окисление каротиноидов при хранении обуславливает низкое их содержание независимо от зоны выращивания.

Заключение

Результаты наших исследований позволили выявить реакцию сортов на условия выращивания и выделить сорта для каждого изученного региона (зоны) с повышенным содержанием белка, крахмала, масла. Выделенные образцы могут быть использованы как источники для создания проса с высоким качеством зерна либо для непосредственного применения в производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лысов В. Н. Просо. — Л.: Колос, 1968. — 224 с.
2. Соколов А. А. Просо. — М.: Сельхозгиз, 1948. — 272 с.
3. Мурри И. К. Биохимия просо // *Биохимия культурных растений*. — М.-Л., 1958. — Т. 1. — С. 512 – 588.
4. Ярош Н. П. Количественный и качественный состав белков и крахмала в зерне различных эколого-географических групп проса // *Тр. по прикл. бот., ген. и сел.* — 1965. — Т. 37, Вып. 1. — С. 50 – 58.
5. Ярош Н. П., Курцева А. Ф. Изменчивость биохимических показателей качества зерна проса в зависимости от генотипа и условий выращивания в разных зонах // *Бюл. ВИР*. — 1985. — Вып. 149. — С. 23 – 29.
6. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. и др. // *Методы биохимических исследований растений* / Под ред. А. И. Ермакова. — Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд., 1987. — 430 с.
7. Ярош Н. П., Бенкен И. И. Определение биологически активных веществ: Метод. указания / Под ред. Ермакова А. И. — Л., 1984. — 74 с.
8. Курцева А. Ф., Хорева В. И. Возможности использования проса в качестве источника сырья для получения амилопектина // *II Междунар. симпоз. по нетрадиционным культурам*: Тез. докл. — Пушкино, 15 – 16 июля 1997 г.
9. Калмыков С. Т. Определение качества кормовых жиров. — М., 1976. — 176 с.
10. Нечаев А. П., Сандлер Ж. Я. Липиды зерна. — М., 1975. — 159 с.
11. Ермаков А. И., Иконникова М. И. и др. Итоги и перспективы биохимических исследований культурных растений // *Тр. по прикл. бот., ген. и сел.* — 1969. — Т. 61, Вып. 1. — С. 326 – 363.
12. Унгенфухт И. П. Выведение сортов проса с высоким качеством зерна // *Селекция зерновых и крупяных культур*: Сб. науч. тр. / Под ред. Ильина В. А. — Саратов, 1991. — С. 96 – 102.
13. Рахимбаев И. Каротиноиды зерна проса // *Изв. АН Каз. ССР, сер. биол.* — 1967. — № 6. — С. 51 – 53.
14. Казаков Е. Д., Кретович В. Л. Биохимия зерна и продуктов его переработки. — М., 1989. — 368 с.
15. Кожемакина Ю. Я. Разработка методов отбора в селекции проса на яркость зерна: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. — Харьков, 1984. — 21 с.
16. Красавин В. Д., Онисков Н. Т. Особенности формирования качества зерна и крупы проса в условиях Северного Казахстана // *Науч. труды ВАСХНИЛ. Селекция и семеноводство проса*. — М., 1976. — 122 с.
17. Хайретдилова Р. Р. Исходный материал для селекции проса в условиях Башкирии: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. — Л., 1979. — 21 с.

БИОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЯРОВОГО И ОЗИМОГО РАПСА ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ВИР им. Н. И. ВАВИЛОВА

Г. К. Низова, А. Г. Дубовская

Изучено 640 различных сортов, гибридов и линий рапса. Материал представлен яровыми и озимыми формами из 36 стран всех континентов. В работе обсуждаются данные по биохимической характеристике образцов рапса по содержанию белка, масла и его жирнокислотному составу. Выделены высокомасличные сорта рапса с высоким содержанием эруковой кислоты в масле для технического применения и с отсутствием или низким содержанием эруковой кислоты — для пищевого. Выделившиеся образцы могут быть использованы в селекции в качестве исходного материала (доноров) для выведения сортов рапса, дающих высококачественное масло различного назначения.

Введение

В последние десятилетия на мировом масличном рынке культура рапса вышла на третье место после сои и масличной пальмы. В России основную долю в производстве растительного масла традиционно составляет подсолнечник 87,5%, а рапс только 3,5%. В стране имеется значительный спрос на рапсовое масло, что составляет порядка 20% от объемов производства растительного масла в стране. Рапс — культура больших потенциальных возможностей. Она хорошо приспособлена к условиям умеренного климата нашей страны. В настоящее время в России потребление растительного масла на душу населения не достигает нормы (13,2 кг/год). Культура рапса может значительно пополнить масличные ресурсы страны, тем более что импорт рапсового масла составляет 40% от потребностей промышленности. В Российской Федерации в 2005 г. районировано 60 сортов рапса отечественной и зарубежной селекции: 47 яровых в 12 регионах страны и 13 озимых в Северо-Западном и Северо-Кавказском регионах [1].

Семена рапса — важнейший источник получения дешевого растительного масла как пищевого, так и технического назначения, а также высокобелковых кормов. Они содержат 40–47% масла и 21–27% белка. Задача селекции масличных культур — не только увеличение масличности семян, но и улучшение качества масла. Состав и соотношение (содержание) жирных кислот в масле определяют его свойства и направления использования. Масло рапса используется на пищевые и технические цели. Усилиями генетиков и селекционеров созданы формы рапса, дающие высококачественное масло с высокими пищевыми достоинствами, поскольку удалось изменить состав и соотношение (содержание) жирных кислот в масле рапса. Созданы сорта этой культуры с высоким содержанием в масле олеиновой и линолевой кислот и низким линоленовой и эруковой [2]. Генотипическая изменчивость содержания жирных кислот у сортов рапса преобладает над фенотипической [3].

Цель данной работы — биохимическая характеристика образцов ярового и озимого рапса коллекции

ВИР, а также гибридов и линий с различными хозяйственно-ценными признаками и выделение образцов для использования в селекции на повышенную масличность и качество масла различного назначения.

Методы исследования

Коллекция рапса ВИР составляет более тысячи образцов. Ежегодно в коллекцию поступают новые образцы (сорта) из таких стран, как Германия, Франция, Швеция, Финляндия и Япония. Нами изучено более 640 образцов ярового и озимого рапса из 36 стран. Данные представлены по биохимической характеристике образцов, поступивших в коллекцию за последние двадцать лет — репродуцированных на опытных станциях ВИР [4].

Содержание белка и масла определяли методом инфракрасной спектроскопии на приборе Inframatic 8260 (Швеция), жирные кислоты — методом газожидкостной хроматографии на хроматографе “Хром-5” (Чехословакия) [5].

Результаты и обсуждение

Анализ полученных данных показал, что изученные образцы рапса характеризуются широкой амплитудой изменчивости содержания масла, жирных кислот и белка. Содержание масла колебалось от 30,2 до 52,1%; основных жирных кислот (% от суммы): олеиновой (С 18:1) — от 10,1 до 74,3, линолевой (С 18:2) — от 10,2 до 27,6, линоленовой (С 18:3) — от 3,9 до 22,7, эруковой (С 22:1) — от 0 до 57; белка — от 11,5 до 28,2%. Это подтверждает возможность селекции этой культуры на качество семян для различных целей: кормового, пищевого и технического использования. В табл. 1 представлены данные по изменчивости этих показателей у всех изученных образцов рапса и отдельно у образцов ярового и озимого рапса. Сорта ярового рапса отличались от озимого большей изменчивостью по содержанию масла, эруковой кислоты и белка и меньшей — по содержанию олеиновой кислоты.

Данные по упомянутым выше биохимическим признакам качества семян рапса проанализированы нами в

Таблица 1. Характеристика изменчивости содержания масла, белка и жирных кислот у рапса

Биохимический показатель	Рапс (n = 640)*		Яровой рапс (n = 420)*		Озимый рапс (n = 220)*	
	мин.-макс.	среднее	мин.-макс.	среднее	мин.-макс.	среднее
Масло, %	30,2 – 52,1	40,3	31,8 – 52,1	40,4	30,2 – 47,8	40,4
Белок (Nx5.5), %	11,5 – 28,2	22,1	11,5 – 28,2	22,3	14,1 – 27,3	21,5
Жирные кислоты, % от суммы:						
олеиновая (С 18:1)	10,1 – 74,3	52,9	11,1 – 74,3	55,9	10,1 – 73,3	47,9
линолевая (С 18:2)	10,2 – 27,6	18,3	11,3 – 27,6	18,5	10,2 – 24,9	17,9
линоленовая (С 18:3)	3,9 – 22,7	8,6	4,7 – 22,7	8,6	3,9 – 21,4	8,6
эруковая (С 22:1)	0 – 57,0	12,2	0 – 55,3	8,6	0 – 57,0	18,8

* Количество образцов (здесь и в табл. 5).

зависимости от происхождения образцов. Существенных различий в характере изменчивости показателей качества (содержание масла, белка, жирнокислотного состава масла) не обнаружено. В группе образцов из каждой страны имеются сорта рапса с высоким и низким процентом масла и белка и большой вариабельностью по содержанию жирных кислот в масле.

Рапс — ценная кормовая культура, шрот рапса — источник дешевого высококачественного кормового белка (до 40% и более). Белок рапса, представленный в основном фракцией глобулинов, сбалансирован по содержанию всех незаменимых аминокислот [6]. 10% образцов ярового и озимого рапса содержали белка в семенах более 25%, у 15 образцов содержание его превышало 27%. Наибольшее содержание белка характерно для сортов ярового рапса: Кубанский 1, к-4885, к-4886, к-4888 (Россия), Ямал, к-4180 и J6 и J7 из к-4168 (Украина); Regent и Andor (Канада), WW 1406 и WW 1471 (Швеция), Hja 82708 (Финляндия); для озимого рапса: Appin (Великобритания) и Wase chousen (Япония).

Рапс — маслянистая культура, поэтому содержание масла в семенах — основной показатель качества. Треть изучаемых образцов содержали масла более 40%. Количество масла у 46 сортов превысило 45%. Особо следует выделить 21 сорт с содержанием масла более 47%: сорта ярового рапса — Лира, Мадригал, Ратник, Рубеж, Славутич, Смак, КСИ № 1, КСИ № 4 (Россия), Maroo (Австралия), Jo 069 и Hja 82470 (Финляндия), к-5079, к-5081 (Чили), Exel (Канада), Pactol и Fidelio (Франция), Leonessa (Чехословакия); озимого рапса — Crusher (Канада), к-4932 (Нидерланды), Tapidor (Франция), Иванна и Тысмицкий (Украина).

В результате изучения жирнокислотного состава была показана широкая изменчивость содержания различных жирных кислот в масле рапса (табл. 1). Качество масла образцов рапса мы обсудим в связи с направлениями его дальнейшего использования. Так, для технического использования необходимо рапсовое масло с высоким содержанием эруковой кислоты — не менее 50%, а в отдельных случаях и выше. Высокоэруковое масло рапса применяется для производства стали, используемой в химической промышленности, для создания новых полимеров, а также в качестве топлива. В связи с последним большую актуальность имеют научные исследования, направленные на поиски эффективного альтернативного топлива для двигателей внут-

Таблица 2. Образцы рапса с высоким содержанием эруковой кислоты в масле

№ по каталогу ВИР	Сорт	Происхождение	Эруковая кислота, % от суммы жирных кислот
<i>Яровой рапс</i>			
482516	Leonessa	Чехословакия	55,3
4988	Golden	Канада	51,5
—	Линия 7 из 4511	Россия	51,1
<i>Озимый рапс</i>			
4752	Appin	Великобритания	53,4
4751	Exstra Tall	—	52,5
4765	Lenora	Германия	54,5
510634	—	Замбия	57,0
4710	Barsica	Нидерланды	51,7
4750	Debra	—	55,5
4927	Mara	—	55,5
4928	Potem	—	50,9
4929	Rampal	—	52,0
4932	R-71-16	—	51,2
4933	Siberische Boerenkool	—	56,7
4760	Broad Leaf Essex	Новая Зеландия	53,1
4688	Снитынский	Украина	51,2
4702	Olimpiade	Чехословакия	52,0
4378	Victor	Швеция	51,4
4693	Nourin 13	Япония	52,6
4696	Nourin 18	—	51,1
4773	Norin 2	—	51,7
4774	Norin 5	—	54,0
4776	Norin 12	—	53,2

ренного сгорания. Такое топливо получается смешением жидкого углеводородного топлива и производных рапсового масла. При сгорании его практически не выделяются канцерогенные вещества и, следовательно, оно является экологически чистым топливом (биотопливом) [7 – 9].

23 образца ярового и озимого рапса выделились по признаку “высокое содержание эруковой кислоты в масле” (табл. 2). Среди образцов озимого рапса высокоэруковых сортов было больше, чем среди ярового. Наибольшее количество эруковой кислоты (56,7 – 57,0%) в масле имели: образец № 510634 из Замбии и сорт Broad Leaf Essex из Новой Зеландии.

Другие требования предъявляются к рапсовому маслу, используемому в пищевых целях. Селекция таких сортов предусматривает снижение содержания эру-

Таблица 3. Безэруковые образцы рапса

Происхождение	Сорт рапса	
	яровой	озимый
Австралия	Wesroona	Wesbell
Белоруссия	Славутич	–
Бразилия	СТС-4, СТС-5, СТС-7	–
Великобритания	–	Mitre, Great, Capricorn, Score, K-4909
Германия	Linetta, Liraspa, Lisonne, Odin	Gundula, Ideal, Kara, Libravo, Kara, Liglandot, Lirastern, Luna, Orbis, Magnus, Mirander
Дания	Christa, Optima	–
Испания	–	Инв. № 518594, Инв. № 518597
Канада	Andor, Exel, Tames	Arctic, Crucher
Норвегия	–	Binera, Elena, Rubin
Польша	–	Baltia, Jantar, Kutnowski
Россия	Кубанский 1, Славутич, Факел и 49 линий и гибридов	–
США	–	Canola N 988
Украина	K-4884	–
Чили	K-5080	–
Финляндия	Hja 81839, Hja 82381, Hja 82470, Hja 82685, Hja 82708	Tapidor
Франция	Bro, Cresor	Andol, Bravo nova, Furax nova, Eurol, Kentan nova, Kurander, Lingot
Чехословакия	–	Libra, Liranova, Valdor
Швеция	Activ, Hanna, Niclas, Topas, WW 1307, WW 1325, Sv. 02279	Jupiku, Magnus, Orion, WW-843

ковой и линоленовой кислот до минимума, увеличение содержания олеиновой кислоты до 65 – 70% и линолевой до 30% [10]. Эруковая кислота вызывает накопление холестерина в коре надпочечников, депрессию роста, стерильность мужских особей животных. Она является причиной патологических изменений мышц сердца, почек, печени, скелетных, органов пищеварения, способствует развитию атеросклероза и тромбоза сосудов. Эруковая кислота вызывает помутнение масла при его хранении, что затрудняет производство маргарина [11]. Следует отметить, что среди поступивших в последние годы в коллекцию ВИР сортов рапса преобладают таковые с отсутствием эруковой кислоты в масле. Так, у 260 образцов эруковая кислота в масле отсутствовала или ее содержание не превышало 1%. В табл. 3 представлены данные по 122 образцам ярового и озимого рапса, в масле которых отсутствовала эруковая кислота. По происхождению больше всего таких образцов из Германии (14), Швеции (10), Франции (9) и Финляндии (6). Образцы из России представлены тремя сортами, линиями и гибридами ярового рапса.

В масле 150 образцов рапса содержание эруковой кислоты не превышало 1%. В табл. 4 дано распределение таких сортов ярового и озимого рапса по странам происхождения, из них: Германия (26), Швеция (17), Франция (14), Финляндия (12), Австралия (9), Россия — 27 сортов и линий и т. д.

Таблица 4. Образцы рапса с содержанием эруковой кислоты в масле до 1%

Происхождение	Сорт рапса	
	яровой	озимый
Австралия	Zemu-304, Zemu-2080, BLN 312, BLN 393, Marnoo, Shiralee, Wesbar-ker, Wesbrook, Wesway	–
Великобритания	Maris Haplona	–
Германия	Aurora, Futura, Callypso, Kariath, Leopard, Lirasol	Anja, Atlas, Ariana, Bhr 2648/80, Callypso, Ceres, Cobra, Glumander, Libritta, Lictor, Ligliori, Liradonna, Lirajet, Lirakotta, Liporta, Miral, Nutiva, Orbis, Primander, Susanna
Дания	Line, Nora	Duplo, Fernando
Испания	–	Инв. № 518597
Канада	Triton, Tower, Midas	–
Нидерланды	–	Esora, Groene Groninger, Snijmoes
Норвегия	–	Lirora
Польша	–	Mar, Polo, Bolko
Россия	АНИИЗИС № 3, Аргумент, Луговской, Мадригал, Многосемянный, Омский 21, Оник, Ордеж 2, Ратник, Рубеж, СИБНИИК-21, Форум, Ярвелон, восемь линий, кк-4886, 4887, 4888, 4892	Проминь, РК-1, к-4876
США	–	Cascade
Украина	Круглик, линия Dn 685/225, Мытницкий, РНР-РР 12491	Тысминецкий
Финляндия	K-4586, 4896, Alku, Bounty, Eho, Hja 81081, Hja 81733, Hja 82414, Hja 82703, Hja 82828, Jo 069, Varma	–
Франция	Brutor, Cesar, Fidelio, Pactol, Romeo	Amazone, Duetol, Falkon, Goeland, Gypse, Leadol, Maxol, Prestol, Vivol
Чехословакия	Орава	Silesia, Solida, SL-502, SL-506
Чили	Аг-91 – 193, к-5079, к-5081	–
Швеция	Omega, WW 311, WW 1319, WW 1325, WW 1363, WW 1406, WW 1427, WW 1445, WW1447, WW 1471	Cristal, Glasier, Juno, Sinus, WW 928, WW 942, WW 988

Содержание эруковой кислоты в масле — хорошо наследуемый признак. Количество эруковой кислоты контролируется двумя генами с пятью аллельными состояниями, определяющими уровни ее содержания от полного отсутствия до 60%. Отсутствие эруковой кислоты в масле рапса определяет рецессивная гомозигота [12, 13]. Главная проблема при производстве семян рапса состоит в необходимости пространственной изоляции посевов безэруковых сортов рапса, так как их переопыление может привести к повышению содержания эруковой кислоты в масле до 0,3 – 2,5% [6]. Необходимо вести постоянный контроль наличия эруковой

Таблица 5. Изменчивость содержания жирных кислот у безэруковых и низкоэруковых образцов рапса

Рапс	Жирные кислоты, % от суммы					
	олеиновая (С 18:1)		линолевая (С 18:2)		линоленовая (С 18:3)	
	мин.-макс	среднее	мин.-макс	среднее	мин.-макс	среднее
<i>Безэруковые образцы</i>						
Яровой ($n = 92$)*	56,4 – 73,2	65,9	14,5 – 26,6	19,1	4,7 – 13,2	8,3
Озимый ($n = 44$)*	57,5 – 73,3	63,2	15,3 – 24,9	20,5	5,5 – 11,5	8,7
<i>Низкоэруковые образцы</i>						
Яровой ($n = 101$)*	40,4 – 74,3	62,2	13,4 – 27,6	19,9	5,3 – 22,7	9,1
Озимый ($n = 62$)*	52,4 – 71,4	61,5	15,7 – 24,7	20,1	3,9 – 10,8	8,7

кислоты в пищевом масле. Даже в развитых странах пищевое товарное масло рапса иногда содержит эту кислоту, присутствие которой негативно влияет на организм человека, о чем указывалось выше.

Для безэруковых и низкоэруковых образцов рапса характерна достаточно большая изменчивость по содержанию олеиновой, линолевой и линоленовой кислот (табл. 5). Так, минимальное количество линоленовой кислоты в масле имели сорта ярового рапса Нја 82381 из Финляндии (4,7%) и озимого рапса Liradonna из Германии (3,9%), а олеиновой кислоты содержалось 68,1 и 71,4%, соответственно. Масла 10 сортов ярового и озимого рапса содержали до 6% линоленовой, 61,0 – 74,3% олеиновой, 13,4 – 24,9% линолевой кислот. Высокое содержание олеиновой кислоты в масле безэруковых и низкоэруковых сортов рапса связано с отрицательной зависимостью между содержанием олеиновой и эруковой кислот ($r = -0,80$). Существует возможность дальнейшего улучшения жирнокислотного состава масла у безэруковых и низкоэруковых сортов за счет увеличения содержания олеиновой и линоленовой кислот и уменьшения линоленовой.

Для получения качественного пищевого масла (содержание масла выше 45% и эруковой кислоты до 1%) по результатам наших исследований выделены образцы: ярового рапса — Ратник и Оредеж 2 (Россия), Bounty, Нја 81839, Нја 82381, Нја 82470 (Финляндия), Pactol (Франция); озимого рапса — к-4876 (Россия) и Lirajet (Германия). Для получения масла, идущего на технические цели (содержание масла выше 45% и эруковой кислоты более 50%) выделены два сорта Leonessa (Чехословакия) и к-4932 (R-71-16) (Нидерланды).

Заключение

В результате изучения образцов коллекции рапса дана биохимическая характеристика сортов по содержанию масла, белка и составу жирных кислот, выделены высокомасличные безэруковые и низкоэруковые сорта рапса для пищевого и высокоэруковые для техни-

ческого использования. Выделившиеся образцы могут быть использованы в селекции в качестве исходного материала для получения сортов рапса различного назначения.

Работа частично выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 06-04-08113-ОФИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Госкомиссия РФ. Реестр селекционных достижений. <http://www.gossort.com/reest/ree> 12.html.
2. Robbelen J. The challenge to generis improvement of vegetable fat productions // *Rev. Fr. Crops Gras.* — 1990. — V. 37, № 7 – 8. — P. 223 – 232.
3. Ермаков А. И., Ярош Н. П., Кузнецова Р. Я., Мегорская О. М. Генотипические особенности масличных видов и сортов семейства *Brassicaceae* по содержанию и качеству масла в семенах // *Труды по прикл. бот., ген. и сел.* — 1975. — Т. 55, Вып. 1. — С. 158 – 179.
4. Низова Г. К., Дубовская А. Г., Конькова А. Г. и др. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 700. Крестоцветные культуры. Рапс, сурепица, горчица сарептская, рыжик (Характеристика образцов по содержанию масла, жирных кислот и белка). — СПб., 1999. — 58 с.
5. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. и др. Методы биохимического исследования растений. — Л.: Агропромиздат, 1987. — 430 с.
6. Василенко И. И. Увеличение производства зернобобовых, фуражных, масличных культур и повышения их качества. — М., 1988. — 92 с.
7. Marchenko A. P., Semenov V. G. Alternative biofuel from rape oil derivatives // *Chem. Technol. Fuels Oils.* — 2001. — V. 37, № 3.
8. Nieschlag H. J., Wolff J. A. Industrial uses of high erucic oils // *J. Am. Oil Chem. Soc.* — 1971. — V. 48, № 11.
9. Scharmer K. Kraftstoff aus Rapsoll-Chancen für die deutsche Landwirtschaft // *Raps.* — 1990. — V. 8, № 2. — P. 86 – 88.
10. Гольцов А. А., Ковальчук А. М., Абрамов В. Ф. и др. Рапс, сурепица. — М.: Колос, 1983. — 192 с.
11. Шпота В. И., Харченко Л. Н. Качество масла и пути его улучшения в процессе селекции масличных культур // *Селекция и семеноводство масличных культур: Сб. науч. работ ВНИИМК.* — Краснодар, 1980. — С. 108 – 114.
12. Горелова С. В. Наследование содержания эруковой кислоты в семенах ярового рапса: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Л., 1989.
13. Robbelen J. Erucic-acid heredity in rapeseed (*Brassica napus L.* and *Brassica campestris L.*) // *Hereditas.* — 1977. — № 86. — P. 159 – 170.

Низова Г. К., канд. биол. наук;

Дубовская А. Г., канд. с.-х. наук;

Всероссийский НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова

АНАЛИЗ ВНУТРИПОПУЛЯЦИОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛЮЦЕРНЫ ПОСЕВНОЙ (*Medicago sativa* L.) ПО БИОХИМИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ КАЧЕСТВА

С. А. Стрельцина, Е. В. Юдкевич, М. А. Жукова,
А. В. Конарев, Н. И. Дзюбенко

В течение двух лет изучены две селекционные популяции люцерны посевной. Анализировались: содержание сухих вещества белка, сапонинов, танинов, изофлавонов, флавонов, флавонолов и фенолкарбоновых кислот, а также показатель пенообразования. Выявлена высокая внутрипопуляционная изменчивость по всем изучаемым признакам. Это подтверждает, что необходимо вести селекционную работу на улучшение биохимического состава с индивидуальными растениями, а не со всей популяцией. Показано, что отобрать нужные растения невозможно лишь в результате однолетнего их изучения, так как их биохимический состав изменяется неодинаково у разных особей. Выделены растения, в которых содержание изученных веществ не менялось по годам, и такие, в которых эти изменения были достаточно существенными. Показано, что у растений, отличающихся высокой нормой реакции на погодные условия, состав изолированных соединений значительно отличался от среднего их значения по популяции. Также показано, что наибольшая устойчивость к изменению погодных условий отмечалась у популяций с наименьшей внутрипопуляционной изменчивостью белка, но наибольшей изменчивостью вторичных метаболитов.

Введение

Люцерна является одной из ведущих кормовых бобовых культур умеренных климатических зон Российской Федерации. По количеству и качеству белка она превосходит многие кормовые травы, в том числе бобовые. В одной кормовой единице люцерны содержится 160 – 175 г переваримого белка. Однако зеленая масса люцерны содержит ряд вредных химических соединений (так называемых антипитательных, или антиметаболических, веществ), которые приводят к нарушению нормального функционирования организма животных. К таким веществам относятся сапонины, эстрогенные вещества, различные фенольные соединения [1].

Люцерна относится к перекрестноопыляемым растениям, для которых показана высокая внутрипопуляционная изменчивость по многим морфобиологическим, физиологическим, хозяйственным и другим признакам. Таким образом, для повышения эффективности селекции люцерны, в том числе и по признакам качества, необходимо работать на уровне индивидуальных растений, для чего нужны сведения о характере внутрипопуляционной изменчивости биохимических признаков качества.

Методы исследования

Объектами исследования служили два сорта люцерны посевной, или синей: селекционная популяция д-2, несущая мутацию многолисточковости (*mf*), и селекционная популяция д-6. В 1996 г. в каждой из популяций изучили по 120 растений. В 1997 г. количество изученных растений люцерны было несколько меньшим из-за гибели в зимний период части растений. В популяции д-2 погибли 17,5% растений, а в популяции д-6 — 23,5% растений.

Образцы были репродуцированы на Павловской опытной станции ВИР им. Н. И. Вавилова. Изучали растения 1-го укоса, равномерно распределенные по всей делянке. В 1996 и 1997 гг. суммы температур и количество выпавших осадков были близки к средним многолетним показателям. 1997 г. по сравнению с предыдущим был более теплым и менее дождливым. Зима 1996 – 1997 гг. отличалась частыми оттепелями и невысоким снежным покровом.

Изучены следующие биохимические показатели: содержание сухих веществ, белка, сапонинов, изофлавонов, танинов, флавонов и флавонолов, фенолкарбоновых кислот, а также уровень пенообразования.

Отбор проб, определение сухих веществ и белка осуществляли по методикам, принятым в отделе биохимии ВИР [2]. Сапонины определяли с помощью метода инфракрасной спектроскопии на приборе Infracmatic-8620. Калибровочную кривую строили по 80 образцам люцерны (по 40 растений каждой из 2-х популяций), содержание сапонинов, в которых определяли с использованием гемолитического индекса [3]. Характеристики полученной кривой: $K = 0,987$, $F = 480$.

Содержание изофлавонов определяли методом тонкослойной хроматографии на пластинах силикагеля [2, 4]. Количество танинов определяли с ванилиновым реактивом, а их фракционный состав — с помощью хроматографии на полиамиде [3]. Содержание флавонов, флавонолов, а также фенолкарбоновых кислот определяли с помощью бумажной хроматографии.

Способность вегетативной массы вызывать тимпанию оценивают по количеству образуемой в модельных условиях пены [5]. Для придания этому показателю универсального характера введен стандарт — количество образуемой пены у нетимпанийного растения, лядвенца рогатого. Показатель пенообразования, таким образом, указывает, во сколько раз исследуемое расте-

ние образует больше устойчивой пены, чем лядвенец рогатый.

Полученные результаты статистически обрабатывали с использованием стандартного программного обеспечения Microsoft Excel (2000).

Результаты и обсуждение

Популяции люцерны накапливали приблизительно одинаковые количества сухих веществ. В зеленой массе популяции д-2 в 1996 г. содержалось в среднем по популяции 22,30% сухих веществ, а в популяции д-6 — 22,55%. В 1997 г. эти показатели составляли 21,55 и 21,67% соответственно. В то же время по содержанию белка изученные сортовые популяции достаточно четко различались. В 1996 г. в популяции д-2 содержалось в среднем 3,42% белка на сырой вес, или 15,39% на сухой вес, в популяции д-6 несколько больше — 3,84 и 17,10% соответственно. В 1997 г. среднее содержание белка снизилось, причем у популяции д-6 в большей степени, чем у д-2. В этом году популяция д-2 содержала в среднем 3,28% белка на сырой вес, или 15,64% на сухой вес, а популяция д-6 — 3,51 и 16,28% соответственно. Таким образом, различие между популяциями стало несколько меньшим, но все же сохранилось.

Более существенно различия между сортами проявились при анализе внутривидовой изменчивости этих показателей (рис. 1). В 1996 г. 65% растений популяции д-2 содержали от 3,0 до 3,5% белка на сырой вес. В 1997 г. количество таких растений осталось почти прежним и составило 62,2%. В популяции д-6 (самой многочисленной — 61%) выделена группа растений с содержанием белка от 3,5 до 4,0%. В 1997 г. число таких растений сократилось до 42,2%, но почти в пять раз (с 11 до 51%) возросло число растений с более низким содержанием белка (3,0 – 3,5%). Таким образом, наибольшие изменения в характере распределения содержания белка у растений обнаружены в популяции д-6. Однако несмотря на значительное уменьшение числа высокобелковых растений в популяции д-6 в 1997 г. и увеличение таковых в д-2, различия между популяциями сохранились.

Для изученных популяций обоих сортов люцерны наблюдается специфический для каждой популяции характер распределения показателя «содержание белка» у отдельных растений за два года исследований. Так, несмотря на внешнее сходство кривых распределения белка, соответствующих 1996 и 1997 гг. изучения, анализ данных по отдельным растениям показал, что внутри популяций произошли существенные изменения. Большинство растений поменяли свое место на графике. Были выделены растения, у которых содержание белка в 1997 г. снизилось в гораздо большей степени, чем в среднем по популяции. Обнаружены и такие растения, у которых содержание белка не только не снизилось, но и возросло, причем у некоторых довольно значительно. Можно было предположить, что в 1997 г. в группу высокобелковых попадут растения, которые по

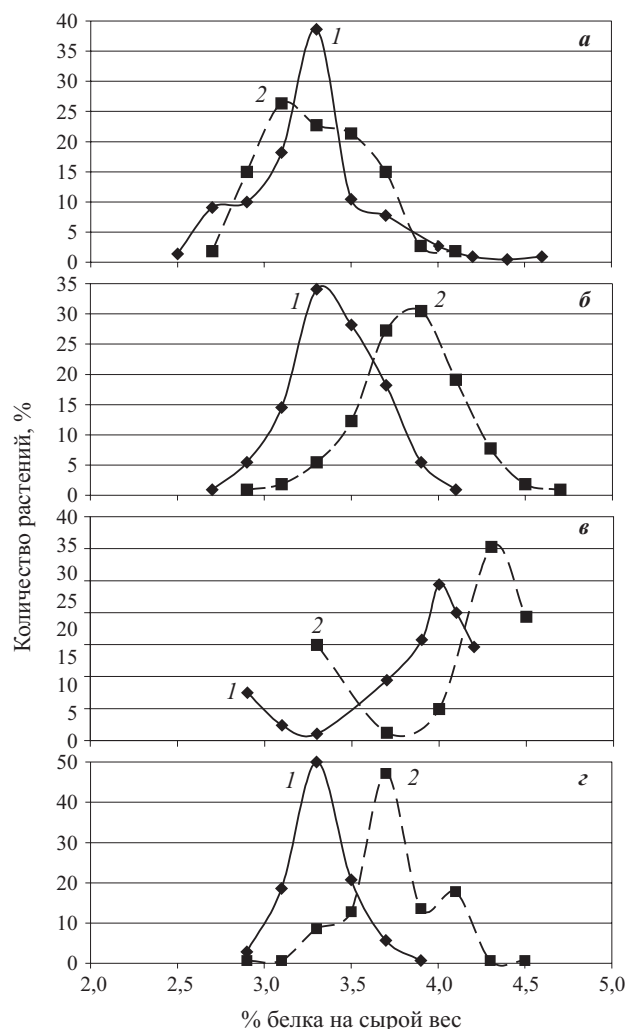


Рис. 1. Внутривидовая изменчивость люцерны по содержанию белка: а — 1996 г., б — 1997 г., в — растения, погибшие зимой 1996 – 1997 гг., г — растения, у которых содержание белка в 1997 г. не изменилось по сравнению с 1996 г. Здесь и на рис. 2, 3: 1 — популяция д-2; 2 — популяция д-6

результатам анализа 1996 г. также отличались повышенным накоплением белка, а в группу низкобелковых — соответственно пониженным накоплением. Однако анализ полученных результатов показал, что во многих случаях это не так. В 1996 г. нами выделена группа растений, отличавшихся высоким (свыше 18% на сухой вес и свыше 4% на сырой вес) накоплением белка. Таких растений в популяции д-6 было достаточно много: более четверти от всей популяции. В 1997 г. 31% этих растений вымерзли, причем погибли растения с очень высоким содержанием белка (20,0 – 21,0% на сухой вес), еще 40% таких высокобелковых растений отставали в развитии и были настолько низкорослыми, что растительного материала не хватило, чтобы провести полный биохимический анализ. У сорта д-2 высокобелковых растений было немного и поэтому мы присоединили к ним растения с содержанием белка от 3,8% на сырой вес и 17,5% на сухой вес и выше. В 1997 г. среди этих растений количество погибших и больных было также значительно больше, чем в среднем по популяции (рис. 1, в). Из оставшихся растений ни одно не по-

пало в число высокобелковых. В 1997 г. группы высокобелковых растений составили те представители, которые в 1996 г. входили в число средне- и низкобелковых. Среднее содержание белка у группы высокобелковых растений в 1997 г. составило 4,12% на сырой вес и 18,56% на сухой вес (д-6) и 3,94 и 17,98% (д-2) соответственно. В 1996 г. эти же растения накапливали белка в количестве, близком к среднему по популяции: 3,68 и 16,99% (д-6) и 3,42 и 15,72% (д-2) соответственно.

В каждой популяции обнаружены растения, у которых содержание белка не менялось по годам (или менялось не более чем на 5%). У сорта д-2 таких растений было 45%, что в 1,5 раза больше, чем у сорта д-6 (28%). У сорта д-2 они располагались на графике в пределах концентраций от 2,9 до 3,7%, причем большинство составляли растения с содержанием белка от 3,2 до 3,4%, что соответствовало количествам, близким к среднему по этой популяции. У сорта д-6 растения со стабильным в течение двух лет содержанием белка попадали на графике в диапазон от 3,2 до 4,1%. При этом большинство составляли растения с показателями от 3,6 до 3,8% белка на сухой вес, что также совпадает со средней концентрацией белка у популяции д-6 (рис. 1, 2).

Сапонины являются одной из основных групп антипитательных веществ люцерны. Показано, что большинство физиологических эффектов, связанных с сапонинами люцерны, оказались вредными для животных [6]. Сапонины обладают поверхностно-активными, или детергентными свойствами, что вызывает пенообразование водных растворов и приводит к заболеванию животных — тимпанию, или вспучиванию. Некоторые авторы считают высокосапониновыми растения, которые содержат более 1% этих веществ на сухой вес [7, 8]. Другие полагают, что к таковым следует относить растения с содержанием сапонинов на сухой вес 0,47% и выше [9].

В 1996 г. в популяции д-2 содержалось в среднем 70,2 мг/100 г сапонинов на сырой вес (0,25% на сухой вес), а в д-6 — 127 мг/100 г (0,56%) соответственно. В 1997 г. в обеих популяциях содержание сапонинов значительно увеличилось: у д-2 в среднем до 122 мг/100 г на сырой вес (0,49% на сухой вес), а у сорта д-6 — до 246 мг/100 г (0,74%). В 1997 г. произошло не только увеличение среднего содержания сапонинов, но и изменение распределения содержания этих веществ у растений в популяции. Как видно из рис. 2, более значительные изменения произошли в популяции д-2. Если в 1996 г. самой многочисленной была группа растений с содержанием сапонинов от 70 до 90 мг/100 г, то в 1997 г. таковой стала группа растений с содержанием сапонинов от 120 до 140 мг/100 г.

Для популяции д-6 на графике распределения сапонинов в 1997 г. не наблюдали “сдвига максимума” значений содержания сапонинов по сравнению с 1996 годом (рис. 2). Увеличение содержания сапонинов в целом у этой популяции в 1997 г. произошло из-за резкого (в 40 раз) увеличения содержания этих веществ у отдельных растений. В 1997 г. найдены растения (3,6%), у

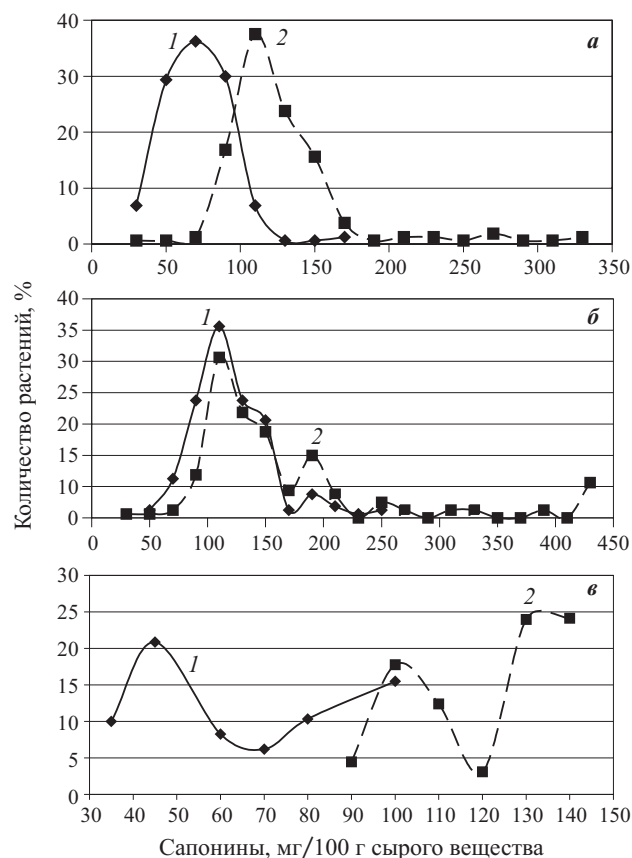


Рис. 2. Внутрипопуляционная изменчивость люцерны по содержанию сапонинов: а — 1996 г., б — 1997 г., в — растения, погибшие зимой 1996 – 1997 гг.

которых эти вещества накапливались в количестве более 1% на сухой вес. Мы обратили особое внимание на эту группу растений. Оказалось, что в 1996 г. они не только не входили в число растений с наибольшим содержанием сапонинов, но большинство из них содержали эти вещества в минимальном количестве. Те же растения, которые в 1996 г. содержали максимальные концентрации сапонинов, на следующий год оказались “низко-” или “среднесапониновыми”. Рассматривая кривую распределения содержания сапонинов у растений, погибших зимой 1996 – 1997 гг., можно заметить, что более жизнестойкими оказались растения со средним содержанием этих веществ, причем как в популяции д-2, так и в д-6 (рис. 1, в).

В популяциях д-2 и д-6 люцерны выделены растения, у которых содержание сапонинов не изменялось по годам (или изменялось не более, чем на 5%). У популяции д-2 эта группа составила 18,5%, у д-6 — 31,6%. В эти группы у д-2 вошли растения с содержанием сапонинов (в пересчете на сырой вес) от 63 до 112 мг/100 г, а у д-6 — от 95 до 175 мг/100 г. Подавляющее большинство таких растений у д-2 содержали от 80 до 100 мг/100 г сапонинов, а у д-6 — от 110 до 140 мг/100 г, что соответствует количествам, близким к средним значениям этого признака для каждой из популяций.

В зеленой массе люцерны обнаружены фенольные соединения, относящиеся к разным классам. Ранее в люцерне найдены два флавонола и пять флавонов и сре-

ди них трицин, вызывающий релаксацию гладкой мускулатуры у свиней [10, 11]. Есть сведения о том, что в люцерне присутствуют бензойные и коричные кислоты [10, 12]. В изученных образцах люцерны нами также обнаружены в очень небольших количествах от двух до пяти индивидуальных флавонолов и флавонов [13]. Эти вещества мы определяли суммарно. В сорте д-2 в 1996 г. в среднем накапливалось 87,5 мг/100 г этих соединений на сырой вес, а в сорте д-6 еще меньше — 25,1 мг/100 г. Уровень токсичности этих веществ для животных значительно выше [10]. Фенолкислоты нами либо не обнаружены, либо содержались у некоторых образцов люцерны лишь в следовых количествах (хлорогеновая кислота).

В люцерне также обнаружены высокополимерные (молекулярная масса от 500 до 3000) фенольные соединения, или танины [1, 10, 14, 15]. Танины могут связывать белки, уменьшая переваримость растительных кормов. Фенольные соединения могут легко окисляться, и продукты их окисления могут соединяться с аминокислотами белков, особенно с лизином и метионином. Тем самым может снижаться качество кормов [1]. В изученных популяциях люцерны найдены танины, которые являются олигомерными и полимерными формами флаванов (катехинов). Однако содержание этих веществ было не очень высоким [13]. В 1996 г. в популяции д-2 танинов оказалось в среднем лишь 16,5 мг/100 г, а в д-6 немногим больше — 28,6 мг/100 г. Поскольку в 1996 г. сорта люцерны д-2 и д-6 содержали незначительные количества вышеперечисленных фенольных соединений — значительно ниже возможных токсичных концентраций, их изучение продолжено не было.

Из литературы известно, что в люцерне обнаружены также изофлавоны (формононетин, биоханин А, дайдзеин и генистеин) и бензокумарины, в частности куместрол [1, 10, 16]. Для фенольных соединений этого класса показана высокая эстрогенная активность. В больших количествах (более 0,5% на сухой вес) эти вещества могут вызывать бесплодие, абортивность и мастит крупного рогатого скота и овец [1, 10]. В небольших количествах они, напротив, способствуют нормальному функционированию органов размножения, увеличивают мясную и молочную продуктивность [17]. В образцах люцерны также обнаружены изофлавоны (80% из которых приходилось на долю формононетина) и небольшие количества куместрола. В 1996 г. у популяции д-2 обнаружено в среднем 40,4 мг/100 г эстрогенов в пересчете на сырой вес, или 170 мг/100 г в пересчете на сухой вес. В популяции д-6 в этом же г. содержалось эстрогенов 42,0 и 188 мг/100 г соответственно. Таким образом, изученные популяции люцерны оказались в целом низкоэстрогеновыми. Однако размах внутрипопуляционной изменчивости по содержанию эстрогенных веществ в 1996 г. был очень большим, особенно у популяции д-2 (7,6% растений содержали более 0,5% этих веществ в пересчете на сухой вес). В 1997 г. содержание изофлавонов в среднем у популяций люцерны существенно не изменилось. В этом г. мы не обнаружи-

ли растений с очень высоким содержанием эстрогенов. Максимальные концентрации этих веществ у растений обеих популяций не превышали 0,34% в пересчете на сухой вес. Мы обратили внимание на содержание эстрогенов у тех растений, у которых оно было или очень высоким, или очень низким в предыдущем г. В популяции д-2 в 1996 г. 10% растений содержали менее 20 мг/100 г изофлавонов в пересчете на сырой вес. У популяции д-6 таких растений было 5,8%. Часть этих растений погибла. В популяции д-2 из 11 растений с содержанием менее 20 мг/100 г изофлавонов осталось 6 растений, а у популяции д-6 из 7 растений — только 2. У остальных “низкоэстрогеновых” растений содержание этих соединений повысилось. Такие растения почти без исключения перешли в группы со средним или высоким содержанием эстрогенов. Среди погибших растений популяции д-6 также была значительная доля таких особей, у которых содержание эстрогенных изофлавонов было относительно велико. Из 15 растений с содержанием выше 60 мг/100 г в пересчете на сырой вес погибли 9. Наименьшее количество погибших растений имели содержание эстрогенов, близкое к среднему у популяции, т.е. в диапазоне концентраций от 30 до 50 мг/100 г. Так, у популяции д-2 погибло всего 8,7% таких растений, а у популяции д-6 — лишь 5% (рис. 3).

Пенообразование рассматривается многими исследователями в качестве важного фактора, обуславливающего возникновение тимпании [13]. Тимпания является серьезным заболеванием пищеварительной системы животных. У большинства изученных нами растений люцерны показатель пенообразования оказался выше, чем у контрольных образцов лядвенца (от 1,1 до 4,5 раз). Большой способностью к пенообразованию отличалась популяция д-6. В 1996 г. показатель пенообразования составил у нее в среднем 2,51, а в 1997 г. еще выше — 2,82. Увеличилось также число растений с показателем пенообразования выше 4 (с 2,7 до 6%). У популяции д-2 в 1996 г. показатель пенообразования был гораздо ниже, в среднем 1,84. Причем почти 10% растений этой популяции имели показатель пенообразования, близкий к 1, т.е. почти такой же, как и у не вызывающего тимпанию лядвенца. В 1997 г. у этой популяции способность к пенообразованию значительно выросла (в среднем до 2,75). Практически исчезли растения с показателем около 1.

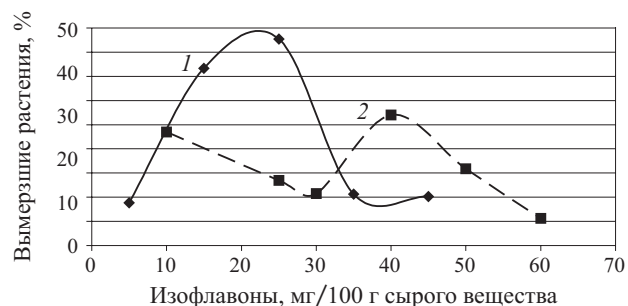


Рис. 3. Содержание изофлавонов у растений люцерны, погибших зимой 1996 – 1997 г.

Показано, что тимпания обусловлена попаданием в рубец пенящихся агентов. Это, прежде всего, сапонины и некоторые фракции растворимых белков [1, 18]. Некоторые исследователи считают, что эффективными “антитимпанийными” агентами являются танины, осаждающие белки в рубце животных [18]. Анализ наших данных выявил высокий уровень корреляционных зависимостей между показателем пенообразования и содержанием сапонинов: в 1996 г. +0,81 у сорта д-2 и +0,76 у сорта д-6, в 1997 г. +0,77 у сорта д-2 и +0,53 у сорта д-6. Несколько меньшая связь обнаружена между пенообразованием и содержанием белка: в 1996 г. +0,47 у сорта д-2 и +0,20 у сорта д-6, в 1997 г. +0,53 у сорта д-2 и +0,46 у сорта д-6. В целом уровень корреляционных зависимостей был более высоким у сорта д-2 по сравнению с сортом д-6. При этом в 1996 г. он был более высоким по сравнению с 1997 г. Нами не выявлено какой-либо существенной связи между показателем пенообразования и содержанием танинов.

Наши исследования показали высокую внутривнутрипопуляционную изменчивость изученных образцов люцерны по рассмотренным биохимическим признакам качества. Внутри каждой популяции выделены растения, в которых содержание тех или иных изучаемых веществ в несколько раз отличалось от их среднего значения в популяции. Изменение погодных условий по-разному влияло на уровень внутривнутрипопуляционной изменчивости различных биохимических признаков. Так, в 1997 г. у обеих изученных популяций диапазон изменчивости по содержанию белка и сапонинов расширился, а по содержанию эстрогенов сузился. В обеих популяциях люцерны можно выделить растения, существенно различающиеся по своей реакции на изменение погодных условий. В то же время в каждой популяции была группа растений, в которой содержание исследуемого признака не менялось или менялось незначительно. Такая группа растений, выделившаяся по содержанию белка, была более многочисленной у популяции д-2, а по накоплению сапонинов, изофлавонов и показателю пенообразования — у д-6. Все эти растения содержали изучаемые соединения в количествах, близких к средним по популяции. Если график распределения белка, сапонинов, изофлавонов и показателя пенообразования построить только по этим образцам, то он получится почти симметричной формы с вершиной в области средних значений этих признаков по каждой из рассматриваемых популяций (пример для белка, рис. 1, в). Таким образом, на кривой распределения для каждой популяции можно по биохимическим признакам выделить “зону стабильности”, внутри которой содержатся растения с проявлением этих признаков, практически не меняющихся по годам. В то же время следует отметить, что не все растения с биохимическими показателями, близкими к средним, входят в “зону стабильности”. В обеих популяциях были и такие растения, у которых, в противоположность растениям из предыдущей группы, под влиянием внешних условий происходили весьма значительные изменения содержа-

ния (иногда в несколько раз) изучаемых соединений. Эту группу составили в основном растения, у которых рассматриваемые вещества содержались в количествах, значительно отличающихся от средних значений по популяции. При изменении внешних условий содержание того или иного соединения у этих растений либо резко возрастало, либо уменьшалось. Среди них также оказалось наибольшее число больных, отстающих в развитии, отличающихся низким ростом и массой растений. Среди растений с низким содержанием сапонинов погибли те, которые накапливали очень много или, наоборот, очень мало белка, флавонов и флавонолов, танинов, изофлавонов. Согласно нашим данным, те растения, которые в значительной степени и по большому числу биохимических показателей выделялись из общей массы растений популяции, имели больше шансов погибнуть или заболеть.

Интересно отметить, что в популяции д-2 было меньше, чем в д-6, погибших и больных растений. Одновременно у первой отмечена большая изменчивость по годам содержания сапонинов и фенольных соединений, т. е. вторичных метаболитов. Для некоторых из этих веществ показана возможность выступать в роли стрессовых метаболитов, участвуя в адаптации растений к неблагоприятным условиям внешней среды [19].

Заключение

Охарактеризовать популяции можно не только по средним, минимальным и максимальным значениям изученных признаков или по кривым распределения этих признаков у растений внутри популяции, но и по особенностям их реакции на изменения погодных условий. Каждая популяция характеризуется определенным количеством растений со стабильным содержанием того или иного биохимического показателя, т. е. “зоной стабильности”. При селекции на увеличение содержания питательных или уменьшение антипитательных веществ, вероятно, не следует отбирать растения с крайними значениями этих признаков, так как велика вероятность, что у таких растений проявление данных признаков будет нестабильным. Целесообразно выделить “зону стабильности” по интересующему признаку и уже среди таких растений отбирать особи с максимальным или минимальным содержанием данных веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Howarth R. E. Antiquality factors and nonnutritive chemical components. Alfalfa and alfalfa improvement // *Agron. Monogr.* — 1988. — V. 29. — P. 493 – 514.
2. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А. И. Ермакова. — 3-е изд. — Л.: Агропромиздат, 1987. — 430 с.
3. Jones M. N., Elliott F. C. Two rapid assays for saponin in individual alfalfa plants // *Crop Sci.* — 1969. — № 9. — P. 688 – 691.
4. Исследование биологически активных веществ плодовых культур / Под ред. Г. Б. Самородовой-Бианки. — Л.: ВНИИР, 1989. — 80 с.
5. Rumbaugh M. D. Inheritance of foaming properties of plant extracts of alfalfa // *Crop Sci.* — 1969. — № 9. — P. 438 – 440.

6. Cheeke P. R. Nutritional and physiological implications of saponins // *Can. J. Anim. Sci.* — 1971. — V. 51. — P. 621 – 632.
7. Дзюбенко Н. И., Марьяна О. И. Метод определения сапонинов и возможности снижения их уровня в кормовой массе люцерны // *Труды по прикл. бот. генет., селек. ВИР.* — 1986. — Т. 107. — С. 92 – 96.
8. Fenwick D. E., Kenful D. O. Saponin content of food plants and some prepared foods // *J. Sci. Food Agric.* — 1983. — V. 34. — P. 186 – 191.
9. Livingston A. L., Knuchlees B. E., Miller R. H., Kohler G. O. Distribution of saponin in alfalfa protein recovery systems // *J. Agric. Food Chem.* — 1979. — V. 27, № 2. — P. 362 – 365.
10. Bickoff E. M., Kohler G. O., Dale Smith. Chemical composition of herbage / C. H. Hanson (ed.) *Alfalfa science and technology* // *Agronomy.* — 1972. — V. 15. — P. 247 – 282.
11. Saleh N. A., Boulos L., El-Negoumy S. I., Abdalla M. F. A comparative study of the flavonoids of *Medicago radialis* with other *Medicago* and related *Trigonella* species // *Biochem. System. Ecol.* — 1982. — № 10. — P. 33 – 36.
12. Lahiry N. L., Satterlee L. D. Release and estimation of chlorogenic acid in leaf protein concentrate // *J. Food Sci.* — 1975. — V. 40. — P. 13 – 26.
13. Стрельцина С. А., Чачко Е. В. Антиметаболические вещества люцерны посевной и козлятника восточного: методы определения, анализ исходного материала // *Бюлл. ВИР.* — 1999. — Т. 237. — С. 43 – 46.
14. Monties B., Rambourg J. C. Occurrence of flavonoids (flavones and cou-mestans) in alfalfa (*Medicago sativa* var. Europe) leaf proteins // *Ann. Technol. Agric.* — 1978. — V. 27. — P. 629 – 654.
15. Rumbaugh M. D. The search for condensed tannins in the genus *Medicago* // *Agron. Abstr. Am. Soc. Agron.* — Madison: WI, 1979. — P. 75.
16. Saloniemi H., Kallela K., Saastamoninen I. Study of phytoestrogen content of goat's rue (*Galega orientalis*), alfalfa (*Medicago sativa*) and white clover (*Trifolium repens*) // *Agric. Sci. Finl.* — 1993. — V. 2, № 6. — P. 515 – 524.
17. Oldfield J. E., Fox C. W., Bahn A. V., et al. Coumestrol in alfalfa as a factor in growth and carcass quality in lambs // *J. Anim. Sci.* — 1966. — V. 25. — P. 167 – 174.
18. Majak W., Howarth R. E., Fesser A. C., et al. Relationships between ruminant bloat and composition of alfalfa herbage. II. Saponins // *Can. J. Anim. Sci.* — 1980. — V. 60. — P. 699 – 708.
19. Харборн Дж. Введение в экологическую биохимию. — 1985.

Стрельцина С. А., канд. биол. наук; Юдкевич Е. В.; Жукова М. А., канд. биол. наук;
 Конарев А. В., докт. биол. наук, профессор; Дзюбенко Н. И., докт. биол. наук, профессор;
 Всероссийский НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова

БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОЗЛЯТНИКА ВОСТОЧНОГО (*Galega orientalis* Lam.)

С. А. Стрельцина, Е. В. Юдкевич, М. А. Жукова,
 А. В. Конарев, Н. И. Дзюбенко

Получены данные по содержанию питательных и антипитательных компонентов в кормовой массе дикорастущей и сортовой популяций козлятника восточного. Установлено, что по основным признакам качества козлятник восточный не уступает традиционным кормовым бобовым травам. Зеленая масса козлятника восточного характеризуется высоким уровнем накопления белка, сухих веществ, каротиноидов и других питательных и биологически активных компонентов. Показано, что содержание основных антипитательных веществ в козлятнике восточном не превышает соответствующих показателей в люцерне и клевере.

Введение

Козлятник восточный относится к семейству бобовых (*Fabaceae*), роду *Galega* L. В последние десятилетия возрос интерес к козлятнику восточному (*Galega orientalis* Lam.) как к новой перспективной кормовой культуре, превосходящей по целому ряду хозяйственно-ценных признаков традиционные кормовые бобовые травы (табл. 1). Козлятник характеризуется высокой биологической продуктивностью, в конкретных погодно-климатических условиях он может превосходить традиционные культуры на 15 – 20%. На одном месте козлятник может возделываться до 12 – 15 лет. Такого продолжительного периода использования не имеет ни одна бобовая культура. Важной особенностью козлятника является раннее весеннее отрастание и способность к длительной вегетации до глубокой осени; это обеспечивает два, а при благоприятных условиях и три укоса. Еще одно преимущество козлятника перед клевером и люцерной состоит в устойчи-

вой семенной продуктивности и раннем созревании семян. В целом, по данным Нижегородской консультационной службы АПК, в животноводческом хозяйстве при использовании на корм козлятника годовая экономия затрат составляет 18 – 24% по сравнению с клевером и люцерной.

Таблица 1. Сравнительная характеристика питательной ценности козлятника восточного и традиционных кормовых культур* (в %)

Культура/ фаза вегетации	Сухое веще- ство	Содержание на сухое вещество			Переваримость органического вещества
		белок	клетчатка	зола	
Козлятник восточ- ный/цветение	25,0	16,3	25,2	9,0	68,0
Клевер/цветение	23,3	16,7	29,2	8,0	70,2
Люцерна/цветение	28,0	18,9	28,9	9,6	64,4
Тимофеевка/выход в трубку	24,9	12,0	23,3	5,2	58,4

* По данным [2].

Таблица 2. Характеристика антипитательных (антиметаболических) веществ кормовых бобовых трав (по литературным данным)

Группа веществ	Характер влияния на организм	Содержание в кормовой массе
Сапонины	Вызывают ингибирование роста организмов, снижают активность пищеварительных ферментов и всасывание питательных веществ, вызывают угнетение деятельности гладкой мускулатуры. Являются вероятной причиной заболевания жвачных животных тимпанией при кормлении люцерной [11]	2 – 3% [24]. При кормлении телят сеном, содержащим 1,7 – 2,6% сапонинов, был отмечен вредный для здоровья эффект
Растворимые белки	Являются одной из причин возникновения пастбищной тимпанией жвачных [12]	Делятся на две группы по молекулярной массе: фракции 1 и 2. Фракция 1 (белок 18S) идентифицирована как главный пенящий агент и фактор вспучивания [18]. Фракция 2 является стабилизатором пенообразования [15]
Танины	Уменьшают концентрацию незаменимых аминокислот и снижают биологические качества белков. Являются причиной появления горького, вяжущего вкуса кормовой массы [23]. Являются эффективными анти тимпанийными веществами	3 – 4% на сухой вес [20]
Фитоэстрогены (изофлавоны, куместаны, лактоны резорциклических кислот)	Эстрогенная активность клевера лугового — возможная причина бесплодия и абортности самок крупного рогатого скота [13]. Эстрогены — причина увеличения заболеваемости маститом молочного скота [10]	В фазе начала цветения клевера суммарное содержание изофлавонов — 118,6 – 982,5 мг/100 г сырого вещества [1]. Эстрогенный эффект люцерны, очевидно, обусловлен куместролом — 3,4 – 6,5% [17]
Фенолкарбоновые кислоты	Высокое содержание хлорогеновой кислоты обуславливает вяжущий вкус травы, что может сказаться на поедании корма животными [4]	Хлорогеновая кислота обнаружена в белковом концентрате люцерны [14]
Флавоноиды	Трицин вызывает релаксацию гладких мускулов при введении в полость кишечника свиней [22]	Идентифицировано 5 флавонов люцерны: трицин, эпигенин, кризиол, 4',7-дигидроксифлавоны и 3',4',7-тригидроксифлавоны [22]
Лигнин	С возрастанием концентрации лигнина растительные волокна становятся менее перевариваемыми	5 – 14% (3 – 8% в листьях и 6 – 15% в стеблях люцерны). Содержание лигнина возрастает при выращивании люцерны в умеренном поясе
Алкалоиды	При поедании овцами кормов, содержащих галегин, возникали нарушения дыхательной функции [16]. Козлятник восточный содержит галегин в незначительных количествах или не содержит вообще [8]	В состав зеленой массы козлятника лекарственного (<i>Galega officinalis</i> L.) — ближайшего родственника козлятника восточного, входит алифатический алкалоид галегин (3-метил-2-бутенилгуанидин) в концентрациях 0,1 – 0,5% [8]

Известно, что большинство кормовых бобовых трав содержат антипитательные компоненты, ухудшающие качество корма, что снижает продуктивность животноводства, а иногда приводит даже к гибели животных (табл. 2). Козлятник восточный мало изучен на предмет наличия антиметаболических компонентов, поэтому в мировой литературе практически нет данных по содержанию антипитательных веществ в кормовой массе козлятника восточного. Таким образом, несомненный интерес представляет изучение этой культуры в связи с проблемой качества.

В нашей стране проблеме качества кормов не уделяли достаточного внимания, а за рубежом козлятник восточный практически не распространен. В связи с этим мы рассмотрим основные классы антипитательных веществ, встречающихся в широко распространенных и хорошо изученных кормовых бобовых травах — люцерне, клевере, лядвенце и др.

Для козлятника как для перекрестноопыляющейся культуры характерна высокая внутривидовая изменчивость по морфобиологическим и хозяйственно ценным признакам. В связи с этим при создании и использовании исходного материала для селекции на качество представляется актуальным изучение биохимических признаков на уровне индивидуальных растений.

В настоящем исследовании мы ставили перед собой следующие задачи:

- дать биохимическую характеристику селекционной и дикорастущей популяциям козлятника по основным показателям качества (содержание сухого вещества, белка, аминокислот, клетчатки, пектинов, каротиноидов, хлорофиллов, флавонолов и фенолкарбоновых кислот, танинов, изофлавонов, кумаринов, сапонинов, уровень пенообразования и переваримость кормовой массы);
- изучить характер внутривидовой изменчивости селекционной и дикорастущей популяций козлятника по важнейшим биохимическим признакам качества.

Методы исследования

Объектом исследования явились две популяции козлятника восточного, репродуцированные на Павловской опытной станции ВИР: селекционная популяция сорт “Надежда” (питомник заложен в 1996 г.) и исходная дикорастущая популяция к-33784 (питомник заложен в 1992 г.).

Зеленую массу козлятника восточного анализировали в фазе начала цветения, т. е. в зависимости от метеорологических условий в сроки с 16 по 25 июня. Со-

держание белка, клетчатки, изофлавонов, показатель пенообразования определяли в воздушно-сухом материале. Для определения остальных показателей использовали зафиксированный в спирте и/или лиофильно высушенный материал. Лиофильную сушку проводили на приборе Alpha I-5 Christ (ФРГ).

Содержание сухих веществ, белка, клетчатки определяли по методикам, принятым в отделе биохимии ВИР [7]. Содержание пектинов определяли карбазольным методом [7]. Содержание изофлавонов выявляли методом инфракрасной спектроскопии на приборе Infracmatic-8620. Калибровочная кривая была построена по 40 образцам козлятника, в которых содержание изофлавонов было количественно определено методом тонкослойной хроматографии на силикагеле [6]. Сапонины определяли полуколичественным методом с помощью гемолитического индекса. Метод основан на способности сапонинов вызывать гемолиз красных кровяных телец [5]. Содержание флавонолов и фенолкарбоновых кислот определяли с использованием бумажной хроматографии из спиртовых вытяжек [6]. Содержание танинов определяли колориметрически с ванилиновым реактивом. Фракционный состав танинов определяли методом хроматографии в ПААГ [6]. Хлорофиллы а и b, сумму каротиноидов определяли спектрофотометрически из ацетонового экстракта при длинах волн 663, 645 и 440,5 нм соответственно [7]. Показатель пенообразования определяли по методике [21] в модификации [2]. Перевариваемость определяли по ГОСТ 24230 – 80 “Корма растительные. Метод определения переваримости *In vitro*”. Аминокислотный состав определяли на аминокислотном анализаторе ААА 339 (ЧССР), кислотный гидролиз растительного материала проводили в 6N HCl с добавлением 1% меркаптоэтанола в течение 24 ч при 110°C. Специфические растворимые белки выделяли методом гель-фильтрации на колонке с сефадексом G-200 по методике, описанной в [19], в нашей модификации. Навеску 2 г лиофильно высушенного материала растирали со стеклянным песком с 0,1M трис-HCl буфером, pH 7,4, при температуре $\leq 10^\circ\text{C}$, экстракт (20 мл) наносили на колонку с сефадексом G-200 (высота 40 см, диаметр 3 см). Элюирование белков проводили при 3 – 5°C, собирая “зеленую” (содержащую хлорофилл) зону. Раствор центрифугировали в течение 10 мин при 3000 об/мин при 10°C. В надосадочную жидкость добавляли сульфат аммония до 45%-ного насыщения и центрифугировали в течение 30 мин при 4200 об/мин при 10°C. Белый осадок растворяли в 5 мл 0,02M фосфатного буфера. Белок отмывали от буфера деионизованной водой, лиофильно высушивали и взвешивали. Количественное определение кумаринов проводили методом тонкослойной хроматографии. Спиртовой экстракт (0,02 – 0,04 мл) наносили на пластины силикагеля (Silufol UV-254), подвижная фаза — бензол : изопропанол : метанол в соотношении 95 : 4 : 1, идентификацию проводили по индексу удерживания (R_f 0,71) и специфической флуоресценции в УФ свете. Кумарины элюировали метанолом, оптическую плот-

ность полученного элюата измеряли на спектрофотометре при 311 нм. Расчет содержания кумаринов производили по калибровочной кривой, построенной по чистому препарату кумэстрола ($k = 0,0252$). Для построения кривых распределения использовали Microsoft Excel 7,0.

Результаты и обсуждение

Полученные данные представлены в табл. 3. На основании этих данных можно утверждать, что козлятник восточный характеризуется высокой питательной ценностью и по основным биохимическим показателям качества не уступает клеверу и люцерне, а по некоторым признакам превосходит их. Нами показано, что в отдельных образцах козлятника восточного содержание белка в кормовой массе может достигать 30% в расчете на сухое вещество. В среднем в годы изучения селекционная популяция содержала 20,4%, а дикорастущая 22,8% белка, что согласуется с литературными сведениями [2, 9]. Наши данные по содержанию сухого вещества, клетчатки, аминокислот, каротиноидов, хлорофиллов и переваримости кормовой массы в изученных образцах козлятника восточного также согласуются с литературными. Основные антипитательные вещества, обнаруженные в кормовой массе козлятника, содержатся в концентрациях, не представляющих опасности для животных. Однако у отдельных растений было выявлено высокое содержание танинов (до 400 мг/100 г сырого вещества), флавонолов и фенолкарбоновых кислот (до 500 мг/100 г сырого вещества). Такие concentra-

Таблица 3. Содержание основных питательных и антипитательных компонентов в зеленой массе козлятника восточного

Определяемый показатель	Селекционная популяция		Дикорастущая популяция	
	диапазон изменчивости	среднее значение	диапазон изменчивости	среднее значение
Сухой вес, %	16,8 – 38,0	25,8	14,0 – 33,3	21,3
Белок, % на сухое вещество	17,7 – 23,4	20,4	15,7 – 30,2	22,8
Клетчатка, % на сухое вещество	20,4 – 25,4	22,7	19,9 – 24,6	22,2
Каротиноиды, мг/100 г сырого вещества	101 – 123	113,3	83,8 – 127	93,3
Сумма хлорофиллов а и b, мг/100 г сырого вещества	367,6 – 468	479	304,0 – 670	427
Переваримость зеленой массы, %	51,2 – 63,7	56,3	54,1 – 65,2	57,7
Изофлавоны, мг/100 г сырого вещества	24,8 – 94,6	54,3	22,9 – 78,2	47,2
Фенольные соединения, мг/100 г сырого вещества	27,3 – 477	270	24,5 – 496	225
Танины, мг/100 г сырого вещества	17,3 – 222	73,3	15,7 – 404	118
Кумарины, мг/100 г сырого вещества	7,3 – 16,8	12,5	6,5 – 21,4	12,7
Пенообразование, мл	29,4 – 46,0	38,6	32,7 – 55,9	42,4

Таблица 4. Характеристика морфобиологических групп (1 – 5) растений козлятника по биохимическим признакам

Показатель	Селекционная популяция					Дикорастущая популяция						
	1	2	3	4	5	среднее	1	2	3	4	5	среднее
Сухой вес, %	25,6	–	28,8	27,7	26,9	27,6	20,2	21,5	21,1	21,4	20,9	21,1
Белок, % на сухое вещество	20,6	–	20,8	21,4	20,9	20,9	21,2	21,6	20,9	21,3	21,2	21,2
Изофлавоны, мг/100 г на сухое вещество	208	–	231	229	234	228	211	249	226	240	233	231
Пенообразование, мл	36,3	–	36,9	36,8	38,9	37,2	39,5	39,2	39,5	39,8	39,6	39,6
% растений в группе от общего числа	13,8	–	38,5	26,2	21,5		12,6	15,6	28,1	32,8	10,9	

ции не являются токсичными, но могут сказаться на вкусовых качествах кормов. Это еще раз доказывает необходимость оценки биохимических показателей на уровне индивидуальных растений. В результате нами показано, что для обеих популяций характерна высокая внутривидовая изменчивость, особенно по содержанию вторичных метаболитов — изофлавонов, танинов, суммы флавонолов и фенолкарбоновых кислот (табл. 3). Эти вещества являются также стрессовыми метаболитами [4] и при определенных условиях их концентрации могут очень сильно изменяться.

Рассмотрим некоторые аспекты характеристики козлятника восточного по биохимическим признакам более подробно. В 2000 г. при сборе растительного материала мы описывали характерные признаки каждого растения (высота, общее состояние, фаза вегетации), на основании которых каждая популяция была разделена на 5 наиболее распространенных групп: 1 — молодые, высокие (более 90 см), мощные корневые отпрыски; 2 — “материнские” растения, сильные, высотой более 90 см; 3 — растения высотой ниже 60 см, слабые, угнетенные; 4 — “материнские” растения средней высоты (70 – 90 см); 5 — молодые корневые отпрыски средней высоты (70 – 90 см), не очень сильные.

В табл. 4 представлены средние данные по четырем показателям качества в каждой из пяти групп и средние значения по популяциям. Из таблицы видно, что молодые растения из групп 1 и 5 в обеих популяциях отличаются более низким накоплением сухого вещества по сравнению со средним значением по популяции. У селекционной популяции значительную часть (38,5%) составляют ослабленные низкорослые растения, для которых характерна слабая облиственность (с этим связано высокое содержание сухого вещества в группе 3). У дикорастущей популяции колебания по содержанию сухого вещества между группами несколько меньше, наибольшее количество сухого вещества накапливают растения 2-й и 4-й групп.

В 1998 г. изучены растения дикорастущего козлятника в пяти различных фазах вегетации: с фазы бутонизации до начала образования бобов. Показано, что содержание сухого вещества в процессе вегетации непрерывно возрастает с 16,90% в фазе бутонизации до 23,50% к началу образования бобов (рис. 1).

Изучен аминокислотный состав белков кормовой массы козлятника. Анализ наших данных и данных литературы (табл. 5) дает нам основание полагать, что белок козлятника восточного характеризуется хорошей сбалансированностью по составу аминокислот.

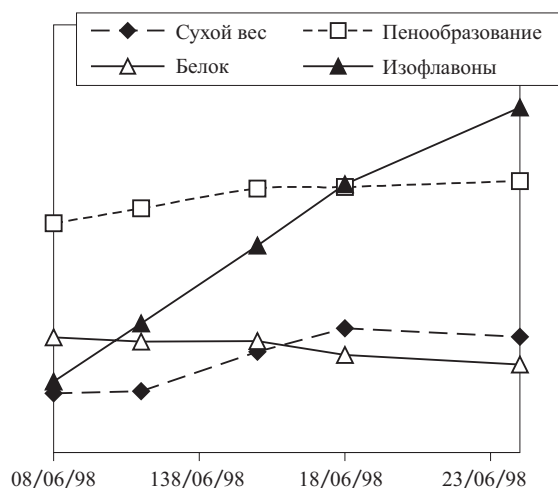


Рис. 1. Характеристика признаков качества кормовой массы козлятника восточного в процессе вегетации

Таблица 5. Содержание аминокислот в кормовой массе козлятника восточного (в г/кг абсолютно сухого вещества)

Аминокислота	По данным лаборатории биохимии ВИР	По Яртиневой, 1977	По Мироненко и др., 1990	По Nommsalu, 1994
Лизин	7,1	6,7	8,44	10,2
Метионин	0,8	3,5	1,05	1,5
Цистин	–	2,9	–	1,1
Триптофан	–	0,8	–	1,0
Аргинин	5,8	7,5	–	6,0
Гистидин	3,7	3,1	4,43	3,9
Лейцин	8,2	10,4	6,31	13,0
Изолейцин	5,3	6,6	3,67	6,9
Фенилаланин	5,6	6,3	6,59	9,0
Треонин	5,7	6,2	5,66	7,0
Валин	6,7	8,1	6,36	8,9
Глицин	5,9	7,7	4,68	6,2
Аланин	5,2	8,0	5,55	7,1
Серин	4,6	6,8	6,78	6,7
Аспарагиновая кислота	13,4	16,2	15,35	25,0
Глутаминовая кислота	10,8	14,9	9,67	16,0
Пролин	2,6	6,3	6,03	15,9
Тирозин	3,4	4,1	3,69	4,9

По содержанию пектинов между двумя популяциями существенных различий выявлено не было (табл. 6).

В 1997 г. изучена кормовая масса растений козлятника восточного на содержание сапонинов. Проанализировали 10 растений из популяций дикорастущего козлятника. Использовали метод, применявшийся ранее при анализе люцерны. Ни с одним образцом при дан-

Таблица 6. Содержание пектинов в кормовой массе козлятника восточного (в % на сухое вещество)

Пектины	Селекционная популяция	Дикорастущая популяция
Протопектины	2,57	2,35
Растворимые	0,451	0,495
Сумма	2,99	2,84

ных условиях не наблюдалось признаков гемолиза, поэтому методику модифицировали: увеличена навеска материала и уменьшено разведение до максимальной концентрации, возможной в данном методе. Даже при этих условиях с большинством растений не было замечено гемолиза эритроцитов. Только с двумя образцами наблюдался частичный гемолиз. Таким образом, наши исследования показали, что козлятник содержит сапонины в следовых количествах. По литературным данным, токсическим действием может обладать корм, содержащий более 1% сапонинов на сухую массу [11]. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что сапонины содержатся в кормовой массе козлятника в низких концентрациях и не могут оказать существенного влияния на питательную ценность данной культуры.

Изучение качественного состава танинов показало, что самая большая фракция — проантоцианидины — составляет 88 – 100% от общего количества полифенолов. Свободные катехины и олигомерные катехины обнаружены только в селекционной популяции в количествах, не превышающих 10%.

В 1996 г. изучен качественный состав изофлавонов дикорастущей популяции козлятника восточного. Результаты анализа 20 растений показали, что основным изофлавоном козлятника является формонетин. Он найден у всех растений. У шести растений обнаружен генистеин, а у одного — дайдзеин.

Содержание бензокумаринов в селекционной популяции составило 12,5 мг/100 г на сырое вещество, а в дикорастущей популяции — 12,7 мг/100 г. Как по нашим, так и по литературным данным можно сделать вывод о том, что концентрация изофлавонов в козлятнике восточном не представляет опасности при использовании данной культуры на корм животным.

Анализ данных литературы показал, что для кормовых бобовых трав остается актуальной проблема тимпани. Одним из важнейших факторов возникновения тимпани является наличие определенных растворимых белков. Мы провели серию опытов, в результате которых выделили белковую фракцию, аналогичную описанной в литературе фракции 18S в кормовой массе люцерны. Показано, что она составляет приблизительно 0,8% от общего количества белков кормовой массы козлятника. По данным [19], “высокотимпанийными” могут называться образцы люцерны с содержанием фракции 18S более 1,8%.

Для повышения эффективности селекции, в том числе и на признаки качества, необходимо перейти на оценку и отбор индивидуальных растений, что невоз-

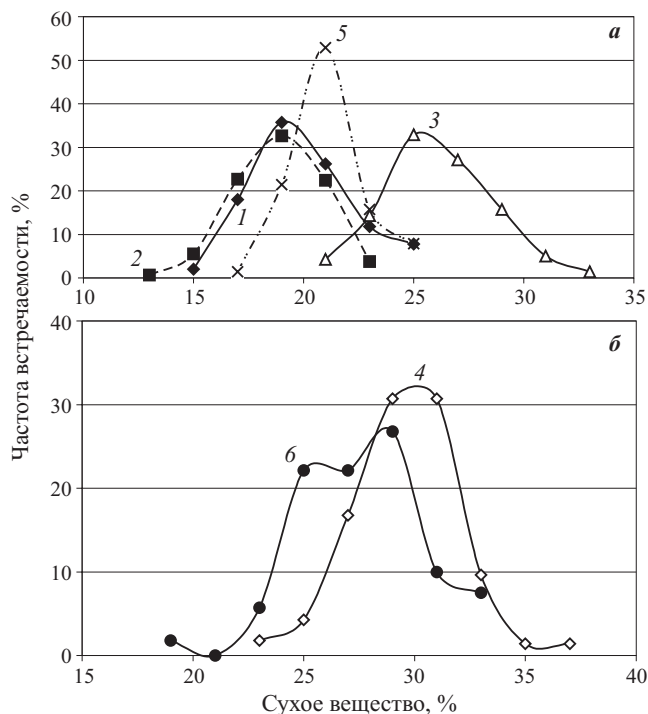


Рис. 2. Распределение растений козлятника в дикорастущей (а) и селекционной (б) популяциях по содержанию сухого вещества. Здесь и на рис. 3 – 5: 1 — 1996 г.; 2 — 1997 г.; 3 и 4 — 1999 г.; 5 и 6 — 2000 г.

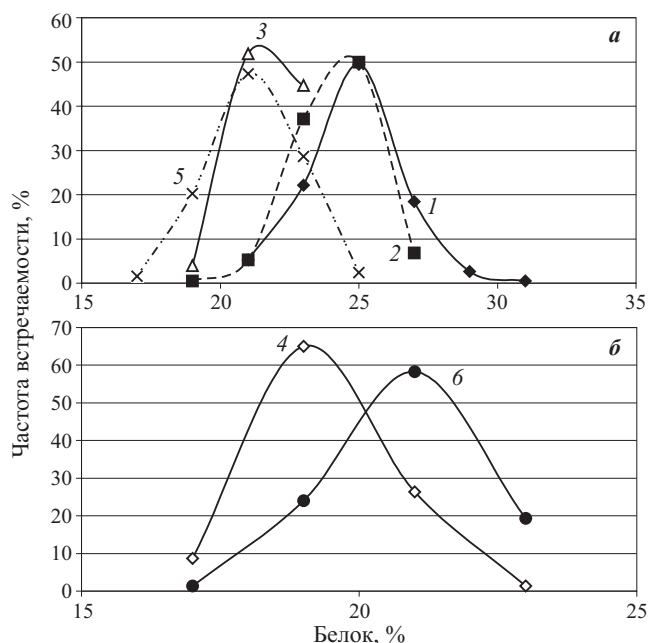


Рис. 3. Распределение растений козлятника в дикорастущей (а) и селекционной (б) популяциях по содержанию белка

можно без знания закономерностей внутривнутрипопуляционной изменчивости. Анализ биохимических признаков на уровне индивидуальных растений позволил нам оценить характер распределения растений в популяции по анализируемому признаку. Наглядно это может быть продемонстрировано, если полученные данные представить в виде диаграмм, отражающих состав изученных популяций по анализируемому признаку. Диаграмма демонстрирует не только диапазон внутривнутри-

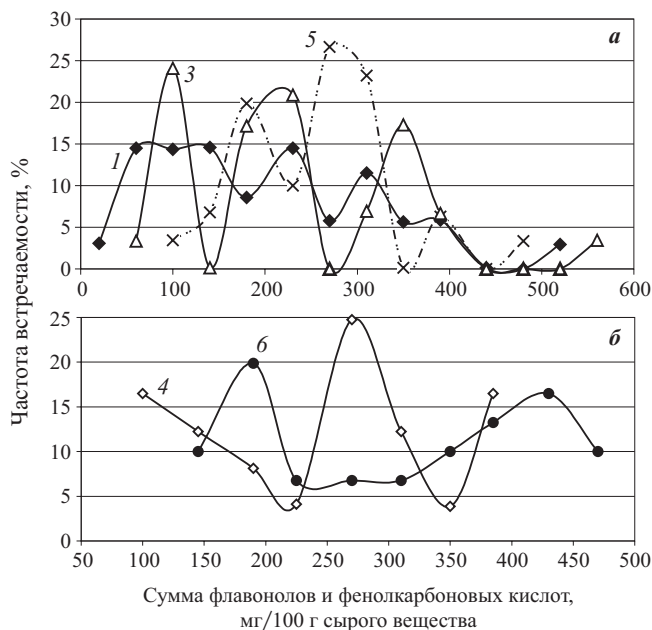


Рис. 4. Распределение растений козлятника в дикорастущей (а) и селекционной (б) популяциях по содержанию суммы флавонолов и фенолкарбоновых кислот

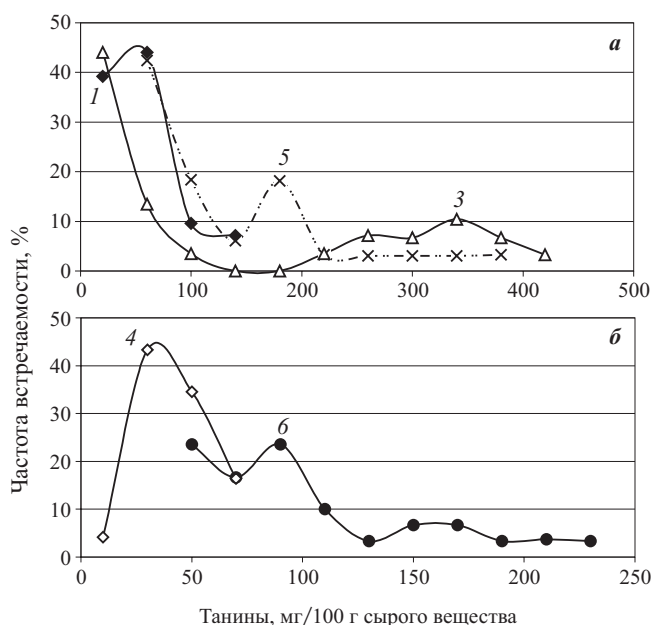


Рис. 5. Распределение растений козлятника в дикорастущей (а) и селекционной (б) популяциях по содержанию танинов

ляционной изменчивости по содержанию данного признака в кормовой массе, но и дает представление о частоте встречаемости в популяциях растений с определенными количественными значениями этих признаков.

Необходимо иметь в виду, что растения козлятника в отличие от наиболее распространенных кормовых бобовых трав — клевера и люцерны — обладают способностью к вегетативному размножению корневыми отпрысками, образуя через 3–4 года после посадки сплошные заросли, поэтому в популяциях, начиная с этого возраста, невозможно проследить за индивидуальными растениями.

С 1996 по 2000 г. у дикорастущей популяции наблюдали существенное сужение диапазона изменчивости по содержанию сухого вещества, у селекционной популяции диапазон изменчивости остался прежним (рис. 2). В 1999 г. обе популяции характеризовались очень высоким содержанием сухого вещества, что связано с нетипичной для нашего региона сухой жаркой погодой.

По содержанию белка наибольший диапазон изменчивости наблюдали у дикорастущей популяции в 1997 г., а наименьший — в 1999 г. У селекционной популяции в отличие от дикорастущей диапазон изменчивости остался без изменений. В целом по данному показателю обе популяции характеризуются симметричными, близкими к нормальному распределению кривыми (рис. 3).

У обеих популяций кривые распределения растений по суммарному содержанию фенольных соединений (флавонолов и фенолкарбоновых кислот) имеют несимметричный характер (рис. 4). Для обеих популяций характерен очень большой диапазон изменчивости по данному признаку, при этом у дикорастущей популяции он существенно шире — крайние значения отличаются почти в 20 раз.

Содержание танинов сильно колебалось в годы изучения (рис. 5). Для обеих популяций характерна большая изменчивость по данному показателю. В среднем за годы изучения содержание танинов у двух популяций отличалось не очень значительно, но для дикорастущей популяции характерен существенно больший диапазон изменчивости.

Заключение

По данным наших исследований, кормовая масса козлятника восточного является высококачественным кормом для животных и может быть рекомендована для использования в животноводстве как альтернатива клеверу, люцерне и лядвенцу. Однако в связи с высокой внутрипопуляционной изменчивостью по содержанию ряда антипитательных веществ (танины, флавонолы, фенолкарбоновые кислоты) при создании исходного материала для селекции на качество в ходе селекции и использования кормовой массы козлятника восточного на корм животным необходимо контролировать содержание этих антипитательных компонентов. При использовании исходного материала для селекции на качество, отбор по ряду основных биохимических признаков необходимо вести на уровне индивидуальных растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агаев Ф. Н. Биохимическая характеристика сортов клевера лугового в условиях Северо-запада Нечерноземной зоны РСФСР и выделение образцов с пониженным содержанием фитоэстрогенов: Автореф. дис. ... канд биол. наук. — Тбилиси, 1984.
2. Вавилов П. П., Райг Х. А. Возделывание и использование козлятника восточного. — М., 1982.
3. Дзюбенко Н. И., Марьина О. И. Метод определения сапонинов и возможности снижения их уровня в кормовой массе

- люцерны // *Сб. науч. тр. прикл. бот. генет., селек. ВИР.* — 1986. — Т. 107. — С. 92–96.
4. Запретов М. Н. Фенольные соединения: Распространение, метаболизм и функции в растениях. — М.: Наука, 1993. — 272 с.
 5. Илиева А., Васильева Б. Оценка сортов и селекционного материала люцерны по содержанию сапонинов гемолитическим методом // *Растен. науки.* — 1989. — Ч. 26., № 9. — С. 45–49.
 6. Исследование биологически активных веществ плодовых культур / Под ред. Г. Б. Самородовой-Бианки. — Л.: ВНИИР, 1989. — 80 с.
 7. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А. И. Ермакова. — 3-е изд. — Л.: Агропромиздат, 1987. — 430 с.
 8. Утеуш Ю. А. Новые перспективные кормовые культуры. — Киев: Наукова думка, 1991. — 192 с.
 9. Ярошевич М. И., Кухарева Л. В., Борейша М. С. Галега восточная — перспективная кормовая культура // *Биология, кормовая ценность, требования к условиям произрастания, особенности возделывания.* — Минск, 1991.
 10. Brookbanks E. O., Welch R. A. S., Coup M. R. Oestrogens in pasture and a possible relationship with mastitis // *N. Z. Vet. J.* — 1969. — 17. — p. 159–160.
 11. Cheeke P. R. Nutritional and physiological implications of saponins // *Can. J. Anim. Sci.* — 1971. — V. 51. — P. 621–632.
 12. Clarke R. T. J., Reid. C. S. W. Foamy bloat of cattle // *J. Dairy Sci.* — 1973. — V. 57. — P. 753–785.
 13. Frank N. A., Sanger V. L., Pounden W. D., et al. Forage estrogens and their possible influence on bovine mastitis // *J. Am. Vet. Med. Assoc.* — 1967. — V. 150. — P. 503–507.
 14. Free B. L., Satterlee L. D. Biochemical properties of alfalfa protein concentrate // *J. Food Sci.* — 1975. — V. 40. — P. 85–89.
 15. Howarth R. E., McArthur J. M., Kikichi M., Sarkar S. K. Bloat investigations: denaturation of alfalfa fraction 2 proteins by foaming // *Can. J. Anim. Sci.* — 1973. — V. 53. — P. 439–443.
 16. Keeler R. F., Baker D. C., Panter K. E. Concentration of galegine in *Verbescina encelioides* and *Galega officinalis* and the toxic and pathologic effects induced by the plants // *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* — 1992. — V. 11, No. 2. — P. 75–81.
 17. Livingston A. L. Forage plant estrogens // *J. Toxicol. Environ. Health.* — 1978. — No. 4. — P. 301–324.
 18. McArthur J. M., Miltimore J. E., Pratt M. J. Bloat investigations: the foam stabilizing protein of alfalfa // *Can. J. Anim. Sci.* — 1964. — V. 44. — P. 200–206.
 19. Noguchi H., Maekawa T., Fujimoto S., et al. Physicochemical studies on fraction I protein from alfalfa // *Agric. Biol. Chem.* — 1978. — V. 42. — P. 1553–1558.
 20. Robbins M. P., Bavage A. D., Strudwicke C., Morris P. Genetic manipulation of condensed tannins in higher plant II. Analysis of birdsfoot trefoil plants harboring antisense dihydroflavonol reductase // *Plant Physiol.* — 1998. — V. 116. — P. 1133–1144.
 21. Rumbaugh M. D. The search for condensed tannins in the genus *Medicago* // *Agron. Abstr. Am. Soc. Agron.* — Madison, WI, 1979. — P. 75.
 22. Saleh N. A., Boulos L., El-Negoumy S. I., Abdalla M. F. A comparative study of the flavonoids of *Medicago radialis* with other *Medicago* and related *Tri-gonella* species // *Biochem. System. Ecol.* — 1982. — No. 10. — P. 33–36.
 23. Swain T., Bale-Smith E. G. Flavonoid compounds // A. M. Florin and H. S. Mason (ed.). *Comparative biochemistry.* — New York: Academic Press, 1962. — V. 3. — P. 755–809.
 24. Wall M. Toxins of animal and plant origin. — London: Gordon and Breach Science Pub., 1971.

Стрельцина С. А., канд. биол. наук; Юдеквич Е. В.; Жукова М. А., канд. биол. наук;
 Конарев А. В., докт. биол. наук, профессор; Дзюбенко Н. И., докт. биол. наук, профессор;
 Всероссийский НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА КАПУСТНЫХ РАСТЕНИЙ РОДА *Brassica* L.

А. Е. Соловьева, А. М. Артемьева

Изучено 657 образцов 17 овощных культур *B. oleracea*, *B. rapa* и *B. juncea* из мировой коллекции ВИР. В работе обсуждаются данные по биохимической характеристике образцов капусты по содержанию аскорбиновой кислоты, каротиноидов, каротинов, β-каротина, хлорофиллов а и b, горчичных масел. Показано, что имеется большой потенциал рода *Brassica* L. для использования его в селекции. Самое высокое содержание исследованных биологически активных веществ найдено в брокколи и краснокочанной капусте (*B. oleracea*), пекинской капусте, татсой (*B. rapa*) и горчице (*B. juncea*). Виды капусты, выделенные по содержанию биологически активных веществ, могут быть рекомендованы для расширения ассортимента используемых в пищу овощей.

Введение

Род *Brassica* L. семейства *Brassicaceae* включает широкое разнообразие капустных овощных, кормовых, декоративных культур: европейские разновидности капусты вида *B. oleracea* L. — кочанную, савойскую, кольраби, цветную, брокколи, листовую, брюссельскую, а также азиатские разновидности *B. rapa* L. — пекинскую, китайскую, ноздреватую (розеточную), японскую капусту и листовую репу. К этой группе при-
 мыкают листовая горчица *B. juncea* Czern. var. *integrifo-*

Lia и var. *cernua* и кормовой рапс *B. napus biennis* (DC) Reichb.

По данным FAO (1999), по объемам производства и потребления на душу населения в развитых странах овощные растения рода *Brassica* занимают третье место среди овощных культур после картофеля и томатов, а в развивающихся странах — второе место, уступая только зерновым. В России капуста занимает около 30% площадей от остальных овощных культур. Однако не все виды капустных овощей получили в нашей стра-

не широкое распространение. В основном возделываются белокочанная капуста, краснокочанная, цветная, кольраби и брокколи. В зимне-весенний период — пекинская и китайская капусты.

Широкое распространение капустных культур обусловлено многими причинами:

- разнообразием продуктивных органов растения, когда в зависимости от видов в пищу используют почти все его части, включая стебли, черешки, листья, соцветия, вегетативные почки;
- возможностью использовать оставшуюся биомассу на корм;
- высокой урожайностью, экологической пластичностью;
- ценным биохимическим составом;
- различными способами пищевого использования: в свежем виде и переработанном; капустные культуры подвергают варке, бланшированию, сушке, замораживанию, ферментации.

Особенность химического состава культур рода *Brassica* — высокое содержание воды и низкое жиров, что обуславливает низкую калорийность капустных растений. Они отличаются также относительно высоким содержанием белков и углеводов. Их белки полноценны по аминокислотному составу (в том числе девять незаменимых аминокислот: метионин, цистеин, лизин, бетаин). В углеводный комплекс входят сахара: глюкоза, фруктоза и сахароза, высокое содержание которых улучшает вкус свежей продукции и при оптимальном соотношении с органическими кислотами играет положительную роль при квашении капусты.

Овощные растения рода *Brassica* — богатый источник минеральных элементов, прежде всего калия и кальция, а также серы, фосфора, алюминия, цинка, железа, марганца, а также биологически активных веществ — ферментов, пигментов, витаминов: В₁, В₂, В₆, К, РР, U, фолиевой и пантотеновой кислоты и особенно витаминов С, Е и каротина (провитамина А). Витамины А и С участвуют в поддержании иммунитета, процессах кроветворения, способствуют росту организма. Аскорбиновая кислота обладает также высокой антиканцерогенной активностью. Фолиевую кислоту используют для предупреждения нейропсихиатрических расстройств.

Характерная особенность капустных культур — наличие значительных количеств серусодержащих вторичных продуктов метаболизма — изотиоцианатов, которые придают продукции специфический горьковатый привкус. Со вторичными метаболитами, к которым относятся также флавоноиды и другие фенольные соединения, связывают антиоксидантное и противовоспалительное действия, стимуляцию иммунной системы, гармонизацию стероидного метаболизма, антибактериальные и противовирусные эффекты. Глюкозинолаты и другие серусодержащие метаболиты обладают профилактическим, в том числе антиканцерогенным действием. Они препятствуют развитию сердечно-сосудистых болезней, а также функциональных расстройств, свя-

занных с возрастом, в том числе болезни Альцгеймера и катаракты. Некоторые разновидности *Brassica* способны в значительных количествах накапливать селен, который также эффективен для профилактики рака, прежде всего толстой кишки. Все это позволяет рекомендовать капустные овощи в лечебных и профилактических диетах, для оптимизации питания населения.

Изменчивость биохимического состава в пределах рода *Brassica* L. весьма велика. Поэтому представляется актуальным поиск внутри каждой из разновидностей форм с ценным биохимическим составом для селекции на качество.

Методы исследования

Исследование было проведено на 17 овощных культурах *Brassica oleracea*, *B. rapa* и *B. juncea* из коллекции ВИР им. Н. И. Вавилова, выращенных на полях Пушкинского филиала ВИР, Санкт-Петербург (табл. 1). Растения возделывали на хорошо удобренной почве при естественном увлажнении. Агротехнические приемы по уходу за растениями осуществляли по стандартным методикам, принятым в ВИР. Растения были собраны, когда кочаны или диаметр листовой розетки достигали своего максимума.

Таблица 1. Изученные виды рода *Brassica* L.

Латинское название	Русское название	Количество изученных образцов
1. <i>B. oleracea</i> L. <i>convar. capitata</i> (L.) <i>Pers. var. Capitata Alba</i>	Белокочанная капуста	190
2. <i>B. oleracea</i> L. <i>convar. capitata</i> (L.) <i>Pers. var. Capitata rubra</i>	Краснокочанная капуста	38
3. <i>B. oleracea</i> L. <i>convar. capitata</i> (L.) <i>Pers. var. Sabauda</i>	Савойская капуста	33
4. <i>B. oleracea</i> L. <i>convar. acephala</i> <i>var. Gemmifera</i>	Брюссельская капуста	28
5. <i>B. oleracea</i> L. <i>convar. botrytis</i> (L.) <i>Mill. var. Botrytis</i>	Цветная капуста	47
6. <i>B. oleracea</i> L. <i>convar. botrytis</i> (L.) <i>Mill. var. Italica</i>	Брокколи	42
7. <i>B. oleracea</i> L. <i>convar. acephala</i> (L.) <i>Mill. var. Gongylodes</i>	Кольраби	40
8. <i>B. oleracea</i> L. <i>convar. acephala</i> <i>var. medullosa</i>	Листовая капуста кормовая	31
9. <i>B. oleracea</i> L. <i>convar. acephala</i> (L.) <i>Mill. var. Selenisia</i>	Листовая капуста декоративная	2
10. <i>B. oleracea</i> L. = <i>syn. B. sylvestris</i> L.	Дикорастущая капуста	5
11. <i>B. rapa</i> L. <i>subsp. chinensis</i> Hanelt	Пекинская капуста	28
12. <i>B. rapa</i> L. <i>subsp. pekinensis</i> (Lour.) Hanelt	Китайская капуста	102
13. <i>B. rapa</i> L. <i>subsp. nipposinica</i> (Bailey) Hanelt	Японская капуста	20
14. <i>B. rapa</i> L. <i>subsp. rapifera</i> Hook. <i>var. Komatsuna Makino</i>	Коматсуна	14
15. <i>B. rapa</i> L. <i>subsp. narinosa</i> (Bailey) Hanelt	Татсой	9
16. <i>B. juncea</i> Czern.	Горчица	14
17. <i>B. carinata</i> A. Braun	Абиссинская капуста	14
ВСЕГО		657

Образцы анализировали, используя свежий материал из 5 растений каждого образца; от каждого растения на анализ была взята четвертая часть. Подготовку образцов и анализы осуществляли, как описано ранее [1].

Количество аскорбиновой кислоты определяли методом прямого извлечения из растений 1% соляной кислотой с последующим титрованием с помощью 2,6-дихлориндофенола. Каротиноиды и хлорофиллы выделяли ацетоном; абсорбция была измерена на спектрофотометре при различных длинах волн. Для определения общего количества глюкозинолатов был использован модифицированный метод, основанный на окислении перманганатом калия в кислой среде производных тиомочевины соответствующих горчичных масел.

Результаты и обсуждение

Наличие значительной изменчивости в содержании веществ в отдельных растениях дает возможность проводить селекционную работу на улучшение химического состава растений, выделяющихся другими ценными

хозяйственными свойствами. Отмечены значительные межвидовые и межсортовые различия содержания биологически активных веществ в роде *Brassica*: для аскорбиновой кислоты, хлорофиллов, каротиноидов, каротинов, в-каротина и глюкозинолатов (табл. 2 — для *B. oleracea*; табл. 3 — для *B. rapa*, *B. juncea* и *B. carinata*).

Аскорбиновая кислота — один из важнейших витаминов, который принимает активное участие в обмене веществ. Она укрепляет иммунную систему, помогает усвоению железа, способствует внутриклеточному обмену. При недостатке ее в организме человека повышается проницаемость и хрупкость мелких сосудов, ослабляется деятельность фагоцитов, снижается сопротивляемость к инфекциям. Поэтому инфекционные болезни чаще всего встречаются в зимние и весенние месяцы, когда пища относительно бедна аскорбиновой кислотой.

Ассимилирующие листья разных видов накапливают большее количество аскорбиновой кислоты, чем листья, формирующие кочаны (белокочанная и савойская капуста). Однако в головках цветной капусты,

Таблица 2. Содержание биологически активных веществ в разновидностях *B. oleracea* L. (в мг/100 г)

Разновидность	Аскорбиновая кислота	Хлорофиллы а и в	Каротиноиды	Каротины	β-Каротин	Глюкозинолаты
Белокочанная	32,74*	57,72	5,19	4,47	0,024	8,86
	11,0 – 71,5**	1 – 70	1 – 9,18	0,53 – 8,63	0,011 – 0,037	2,80 – 27,80
Краснокочанная	66,56	92,88	–	5,69	–	9,48
	19,72 – 135,4	14,8 – 180,4	–	1,77 – 11,68	–	4,60 – 23,80
Савойская	55,65	79,08	1,51	0,71	0,347	9,12
	13,1 – 163,7	2,04 – 173,7	1,06 – 2,97	0,65 – 2,39	0,156 – 0,461	3,60 – 20,03
Листовая кормовая	73,41	111,19	–	4,99	–	7,51
	15,2 – 163,7	12,9 – 224,4	–	0,20 – 11,80	–	3,60 – 10,25
Листовая дикорастущая	81,77	67,35	–	2,82	–	8,26
	8,60 – 116,80	47,0 – 87,70	–	1,54 – 5,18	–	7,42 – 9,10
Брюссельская	106,17	10,39	3,33	2,84	0,253	19,79
	12,53 – 207,7	3,23 – 27,50	1,41 – 6,97	1,11 – 5,59	0,191 – 0,372	7,90 – 35,69
Цветная	66,20	5,21	2,66	2,50	0,163	8,61
	15,5 – 189,0	1 – 23,40	1,17 – 7,54	0,14 – 5,82	0,015 – 0,393	6,20 – 16,70
Брокколи	52,57	21,82	5,47	2,68	0,864	11,17
	23,52 – 118,5	4,64 – 49,36	1,36 – 12,63	0,51 – 4,24	0,144 – 2,500	6,54 – 17,84
Кольраби	49,53	87,93	–	2,77	0,160	8,59
	24,66 – 112,9	48,5 – 166,9	–	2,37 – 3,36	0,070 – 0,387	6,40 – 10,22
Декоративная	86,64	62,33	–	3,66	–	12,89
	33,0 – 137,30	1,40 – 172,50	–	0,17 – 9,27	–	–

Здесь и в табл. 3: * среднее, ** вариабельность.

Таблица 3. Содержание биологически активных веществ у видов *B. rapa*, *B. juncea* и *B. carinata* (в мг/100 г)

Вид	Аскорбиновая кислота	Хлорофиллы а и в	Каротиноиды	Каротины	β-Каротин	Глюкозинолаты
Пекинская	33,86*	107,81	20,96	6,30	4,84	4,72
	3,56 – 145,20**	64,22 – 180,8	4,71 – 38,41	3,6 – 15,54	2,96 – 10,18	1,24 – 11,80
Китайская	22,45	72,19	14,36	3,87	2,961	13,30
	3,15 – 83,60	3,01 – 163,25	0,91 – 30,30	0,17 – 18,89	0,14 – 7,12	0,60 – 40,00
Японская	37,79	125,46	20,78	5,59	5,09	9,90
	9,04 – 126,72	59,50 – 163,18	5,38 – 34,17	1,62 – 12,40	1,69 – 7,08	2,90 – 16,30
Коматсуна	39,20	109,78	23,00	5,71	4,67	12,41
	12,60 – 92,40	67,72 – 164,99	2,21 – 36,78	2,41 – 8,70	2,05 – 7,40	7,50 – 18,44
Татсой	41,59	97,37	19,65	5,86	4,04	9,57
	4,20 – 124,08	7,06 – 231,37	2,73 – 29,38	2,03 – 15,30	0,32 – 6,38	2,60 – 25,78
Горчица	42,77	123,46	23,20	6,54	5,30	13,12
	3,80 – 110,88	77,24 – 185,48	8,16 – 41,11	4,14 – 9,52	3,43 – 8,17	8,13 – 24,99
Абиссинская	51,37	–	–	3,58	–	2,20
	17,92 – 79,0	–	–	2,62 – 4,99	–	–

которые являются видоизмененным соцветием, количество аскорбиновой кислоты тоже высокое — до 120 мг/100 г. Повышенное содержание аскорбиновой кислоты в кочанчиках брюссельской капусты также объясняется сохранением их ассимилирующих функций. В запасающих органах независимо от их видовой специфики концентрация аскорбиновой кислоты понижена (например, кольраби).

Установлено совместное участие аскорбиновой кислоты и каротина в сопряженных реакциях обмена веществ. Накопление в растениях пигментов зависит от реакционной способности системы: аскорбиновая кислота — дегидроаскорбиновая кислота — аскорбатоксидаза. Ткани растений с повышенным содержанием каротина характеризуются и большей концентрацией в них окисленной формы аскорбиновой кислоты. Ежедневный прием аскорбиновой кислоты около 10 мг у большинства людей предупреждает заболевание цингой. Суточная потребность человека в витамине С составляет 50 — 100 мг. Потребность в аскорбиновой кислоте зависит от многих факторов: возраста, пола, состояния здоровья, физической и умственной нагрузки, климатических условий.

Установлены диапазоны изменчивости в накоплении аскорбиновой кислоты: для *B. oleracea* — от 8 до 207 мг/100 г сырого вещества, для *B. rapa* — от 3 до 145 мг/100 г.

В растениях содержатся различные пигменты: зеленые, желтые, красные и фиолетовые. Зеленые пигменты представлены хлорофиллами а и b, которые принимают участие в процессах фотосинтеза и содержатся во всех ассимилирующих органах, чаще всего в листьях. Они находятся в хлоропластах в больших количествах, часто связаны с белком, но легко извлекаются жирными растворами типа ацетона или эфира. Хлорофилл играет важную роль в диетическом питании. Так, при систематическом употреблении в пищу в свежем виде зеленых листьев повышается количество гемоглобина и эритроцитов в крови. Это позволяет рекомендовать данные овощи как профилактическое средство в борьбе с анемией, для диетического питания при сердечных заболеваниях и при язве желудка.

Диапазоны изменчивости в содержании хлорофиллов а и b: для *B. oleracea* — от 1 (белокочанная капуста, цветная капуста) до 224,4 мг/100 г (листовая капуста), для *B. rapa* — от 3 (китайская капуста) до 231 мг/100 г (татсой).

Каротиноиды — это желтые жирорастворимые пигменты (тетратерпиноиды C_{40}), которые чрезвычайно широко распространены, как и хлорофиллы. Каротиноиды имеют две основные функции в растениях: как дополнительные пигменты в процессах фотосинтеза и для окраски цветов и плодов. Каротиноиды синтезируются вместе с β -каротином в листьях высших растений. Эти вещества окрашивают растения в желтый, оранжевый или красный цвет. Они часто образуются наряду с хлорофиллом в зеленых тканях растений, поэтому зеленые овощи, в частности капустные, являются хороши-

ми источниками каротинов (хотя в этих растениях цвет каротинов подавляется хлорофиллами).

Содержание каротиноидов в наших опытах варьировало от 1 (белокочанная капуста) до 13 мг/100 г (брокколи) *B. oleracea*, от 0,9 (китайская капуста) до 38 мг/100 г (пекинская капуста) *B. rapa*, от 8 до 41 мг/100 г (горчица) *B. juncea*.

В растениях в виде каротина находится провитамин А. В организме человека из каротина образуется витамин А, или ретинол, который регулирует окислительно-восстановительные процессы, образует гликоген в печени и мышцах, обеспечивает синтез половых гормонов. Каротин повышает устойчивость организма к инфекциям, способствует росту и формированию скелета, нормальному функционированию кожи, слизистых оболочек, органов зрения. Каротин применяют для лечения ожогов, обморожения, гнойных ран. Установлено, что витамин А оказывает защитное действие в отношении развития различных злокачественных процессов.

Потребность в каротине взрослого человека составляет 4,5 мг β -каротина, а у беременных женщин она возрастает почти в 2 раза. Однако всасывание β -каротина в кишечном тракте нестабильно и в большинстве случаев не превышает 1/3 поступившего. Суточная потребность в витамине А зависит от возраста человека (потребность взрослых меньше, чем у детей), условий работы и ряда других причин. Недостаток витамина А вызывает нарушения в организме: ухудшение зрения в сумерках (куриная слепота), шелушение кожи, обострения бронхолегочных заболеваний и язвенной болезни желудка, образование камней в печени и почках.

По нашим данным, содержание каротинов варьировало от 0,14 (белокочанная капуста) до 11,80 мг/100 г (листовая капуста) *B. oleracea*; образцы *B. rapa* содержали провитамина А от 0,17 до 18,89 мг/100 г (китайская капуста).

В растениях каротины представлены смесью изомеров: α -, β -, γ -, δ -, ξ -каротинов. Из них только α -, β -, γ -каротины обладают биологической активностью — способностью в организме превращаться в витамин А. Наиболее активным является β -каротин. Если принять его биологическую активность за 100%, то активность α -каротина составляет 53%, а γ -каротина — 27%. Восточно-азиатские капусты содержат примерно 4 мг/100 г β -каротина и около 1 мг/100 г α -каротина; на долю γ -каротина приходится менее 1 мг/100 г. Следует отметить, что во всех зеленых культурах на долю β -каротина приходится от 80 до 100% от общего содержания каротинов. У культур вида *B. oleracea* содержание β -каротина изменялось в пределах от 0,011 (белокочанная капуста) до 2,5 (брокколи), у *B. rapa* — от 0,14 (китайская капуста) до 10 мг/100 г (пекинская капуста).

Гликозиды — продукты вторичного метаболизма; это различные ароматические изотиоцианаты и производные индола. Они выполняют роль запасных веществ, а иногда и защитную роль против микроорга-

низмов [2], так как при их ферментативном гидролизе под действием мирозиназы идет постадийное расщепление глюкозинолатов, где кроме глюкозы и бисульфата образуются ряд летучих соединений (горчичных масел), обладающих бактерицидными свойствами. В зависимости от pH среды и строения агликоновых радикалов при ферментативном гидролизе могут образовываться различные продукты распада, где основными являются изотиоцианаты, тиоцианаты и нитрилы. Гликозиды придают капустным культурам специфический аромат и характерный горьковатый привкус [3, 4]. Наличие гликозидов в больших количествах в некоторых случаях снижает диетические свойства капусты и ограничивает употребление ее в пищу при ряде заболеваний. Установлено, что капуста обладает струмигенными свойствами — повышает секреторную деятельность щитовидной железы. Зобогенное вещество в капусте находится в форме неактивного прогойтрина, который под действием тиоглюкозидазы превращается в гойтрин — активное вещество, стимулирующее секреторную активность щитовидной железы [5]. Неправильное хранение капусты в зимний период может привести к повышению активности фермента тиоглюкозидазы.

В наших опытах выявлена значительная изменчивость в содержании глюкозинолатов в роде *Brassica*: от 2,8 (белокочанная капуста) до 35,7 мг/100 г (брюссельская капуста) *B. oleracea*, от 0,6 до 40 мг/100 г (китайская капуста) *B. rapa*. Наиболее высокий уровень

глюкозинолатов отмечен в брюссельской и китайской капусте.

Заключение

Полученные данные указывают, с одной стороны, на необходимость оценки биохимического состава параллельно с другими хозяйственно-ценными показателями при выведении новых сортов капусты, а с другой — на большой потенциал рода *Brassica* для использования его в селекции. Самое высокое содержание биологически активных веществ найдено в брокколи и краснокочанной капусте (*B. oleracea*), пекинской капусте, татсой (*B. rapa*) и горчице (*B. juncea*). Виды капусты, выделившиеся по содержанию биологически активных веществ, могут быть рекомендованы для расширения ассортимента используемых в пищу овощей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. Методы биохимического исследования растений. — Л.: Агропромиздат, 1987. — 430 с.
2. Finch S. // *Ent. Exp. Appl.* — 1978. — V. 24. — P. 350 – 357.
3. Fenwick G. R., Heaney R. K., Mullin W. J. // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* — 1983. — V. 18, № 2. — P. 123 – 201.
4. Kassahun B. W., Velisek J., Davidec J. Agrifood quality: an interdisciplinary approach. / G. R. Fenwick, C. Hedley, R. L. Richards and S. Khokhar (eds.). — Cambridge, UK, 1996. — P. 329 – 331.
5. Wills J. H. Toxicants occurring naturally in food. — Washington DC, 1966. — P. 3 – 17.

Соловьева А. Е., канд. биол. наук;

Артемьева А. М. канд. с.-х. наук;

Всероссийский НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова

КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ КУЛЬТУРНЫХ ТИПОВ ВОСТОЧНО-АЗИАТСКОГО ВИДА *Brassica rapa* L.

А. Е. Соловьева, А. М. Артемьева

Изучено 168 образцов пяти восточно-азиатских типов *B. rapa* L. из мировой коллекции ВИР. Обсуждаются данные по биохимической характеристике образцов капусты *B. rapa* L. на содержание аскорбиновой кислоты, каротиноидов, каротинов, β-каротина, хлорофиллов а и b, горчичных масел. Показано, что имеется большой потенциал восточно-азиатских типов *B. rapa* L. для использования их в селекции.

Введение

Овощные культуры рода *Brassica* L. занимают третье место среди овощей по производству и потреблению после картофеля и томатов в развитых странах и второе — после зерновых культур в развивающихся странах [1]. В России род *Brassica* по значимости идет после хлебных злаков и картофеля.

Повсеместное распространение овощных культур рода *Brassica* определено многими факторами. Это и потребление в пищу в свежем и переработанном видах.

Остатки после переработки используются для фуража. Капустные овощи отличаются высоким урожаем, экологической пластичностью и ценным биохимическим составом.

В Госреестр России включены 10 сортов и гибридов пекинской капусты и 4 сорта китайской, причем большинство — только по продуктивности, без учета биохимических показателей качества продукции. Между тем изменчивость содержания биологически активных веществ внутри каждой культуры, по предварительным

данным, весьма велика. Например, содержание аскорбиновой кислоты в пекинской капусте колеблется от 5 до 114 мг/100 г, β -каротин в китайской капусте — от 0,1 до 7,5 мг/100 г, хлорофиллов в японской капусте — от 59 до 165 мг/100 г. Снижает качество товарной продукции капуст относительно высокое содержание нитратов, особенно в черешках китайской капусты. Изменчивость по этому признаку значительна — от 114 до 10413 мг/кг, при ПДК (предельно допустимая концентрация) до 2000 мг/кг.

Таким образом, актуально изучение обширного генофонда азиатских капустных культур коллекции ВИР по показателям качества товарной продукции, выделение источников высокого содержания биологически активных веществ и пониженного — нитратов, сочетающих продуктивность, устойчивость к цветущности и основным болезням.

В современных условиях обеспечение качественным продовольствием становится одним из наиболее важных компонентов развития общества. Овощи рода *Brassica* L. характеризуются низкой калорийностью, содержат белок высокого качества, углеводы, целлюлозу, витамины, вторичные метаболиты. Они употребляются преимущественно в свежем виде, поэтому все питательные и биологически активные вещества полнее используются организмом человека. Особую роль для обмена веществ в организме человека играют вторичные метаболиты, которые имеют антиканцерогенный, антиоксидантный, антибактериальный и противовирусный эффекты, стимулируют иммунную систему и снижают риск воспалительных процессов. Капустные овощи также предупреждают развитие сердечно-сосудистых болезней и болезней, связанных со старением [2]. Все это доказывает необходимость большего потребления овощей рода *Brassica*.

Коллекция ВИР рода *Brassica* состоит из 6603 образцов, включая 525 образцов восточно-азиатских видов *Brassica rapa*. Среди последних — 381 образец пекинской (*B. rapa* ssp. *pekinensis* (Lour.) Hanelt in Schultze-Motel), 100 образцов китайской (*B. rapa* ssp. *chinensis* (L.) Hanelt in Schultze-Motel), 14 образцов розеточной (*B. rapa* ssp. *Narinosa* (Bailey) Hanelt), 15 образцов японской Мибуна и Мизуна (*B. rapa* ssp. *nipposinica* (Bailey) Hanelt in Schultze-Motel) капуст и 15 образцов листовой репы (*B. rapa* ssp. *rapifera* (L.) Metzg). Для дифференциации листовых капустных вида *B. rapa* использованы морфологические, эколого-географические и биохимические методы изучения. Образцы листовой пекинской капусты объединены в три сортогруппы, полукочанной — в пять типов, кочанной с открытой вершиной в два типа, кочанной — в восемь типов; образцы китайской капусты отнесены к четырем сортогруппам, розеточной — к двум, японской — к двум [3].

Восточно-азиатские виды капусты богаты питательными и биологически активными веществами. К азиатским капустным культурам относятся пекинская, китайская, японская капусты. Пекинская капуста, особенно кочанная, — одна из самых экономически выгодных

овощных культур, ультраскороспелая, с потенциальной урожайностью 15 кг/м², пригодна для хранения в течение 3–4 месяцев, содержит “противоязвенный” витамин U. Китайская капуста ценна высоким содержанием биологически активных веществ (аскорбиновая кислота, каротины, хлорофиллы), что позволяет использовать ее в диетическом питании. Японская капуста сочетает ценный биохимический состав и декоративность. Азиатские капусты возделываются в открытом и защищенном грунтах, в том числе при пониженной освещенности.

Задача работы состояла в изучении генетических ресурсов пекинской, китайской, японской капуст по основным хозяйственным и биологическим признакам и свойствам в открытом и защищенном грунтах с целью выделения источников ценных признаков, а также в анализе изменчивости проявления основных биохимических показателей качества урожая в зависимости от географического происхождения и экологических условий выращивания.

Методы исследования

Материалом для биохимических исследований послужили образцы коллекции ВИР им. Н. И. Вавилова 5 восточно-азиатских типов *Brassica rapa*, которые были представлены 28 образцами пекинской, 102 образцами китайской, 15 образцами японской (мибуна и мизуна) капуст, 14 образцами листовой репы и 9 образцами татсой.

Растения возделывали на хорошо удобренной почве при естественном увлажнении. Агротехнические приемы по уходу за растениями осуществляли по стандартным методикам, принятым в ВИР. Растения были собраны, когда кочаны или диаметр листовой розетки достигали своего максимума.

Образцы анализировали, используя свежий материал из 5 растений каждого образца; от каждого растения на анализ была взята четвертая часть. Подготавливали и анализировали образцы, как описано ранее [4].

Капустные овощи биохимически оценивали по следующим основным показателям качества: содержанию сухого вещества, сахаров, аскорбиновой кислоты, белка, каротиноидов, каротина, β -каротина, хлорофиллов. Исследовали в лаборатории биохимии и молекулярной биологии ВИР. В статье представлены данные двух-трехгодичного, а для стандартных сортов — многолетнего изучения.

Содержание аскорбиновой кислоты определяли методом прямого извлечения из растений 1% соляной кислотой с последующим титрованием с помощью 2,6-дихлориндофенола. Суммарное содержание сахаров определяли прямым извлечением горячей водой методом Бертрана. Белок определяли в сухом материале с использованием прибора Kjeltac Auto 1030 Analyzer (Швеция). Каротиноиды и хлорофиллы выделяли с помощью ацетона, их абсорбцию измеряли на спектрофотометре при различных длинах волн (хлорофилл а —

663 нм, хлорофилл b — 645 нм, каротиноиды — 440 нм, β-каротин — 454 нм). Суммарное содержание каротиноидов определяли методом бумажной хроматографии с последующим определением оптической плотности на спектрофотометре (454 нм). Для определения общего количества глюкозинолатов использовали модифицированный метод, основанный на окислении перманганатом калия в кислой среде производных тиомочевины соответствующих горчичных масел.

Результаты и обсуждение

Для установления наиболее перспективных для дальнейшего изучения и практического использования листовых капустных культур мы изучили химический состав (питательных и биологически активных веществ) восточно-азиатских видов капусты (табл. 1 и 2). Анализ генофонда *B. rapa* в условиях северо-западной зоны показал существенные различия как среди видов, так и внутри каждого изученного вида.

На основе исследований установлено, что изученные подвиды *B. rapa* имеют существенные различия по содержанию массы сухих веществ. Диапазон изменчивости варьировал от 2,80 до 14,76%. Наиболее высоким содержанием массы сухих веществ отличается пекинская капуста (до 14,76%).

Общее содержание сахаров в изученных образцах относительно низкое. В основном сахара представлены моносахарами (практически до 100%). Однако в этих

Таблица 1. Содержание питательных веществ у восточно-азиатских видов *Brassica rapa* L. (в %)

Капуста	Сухой вес	Суммарное содержание сахаров (на сырое вещество)	Белок (на сухое вещество)
Пекинская	6,18* 2,84 – 14,76**	1,42 0,11 – 4,70	26,07 13,90 – 35,80
Китайская	5,84 3,51 – 10,20	1,09 0,05 – 3,75	12,93 7,48 – 26,14
Японская	7,39 4,88 – 12,02, 1,38 0,11 – 3,10	14,77 10,12 – 19,08	–
Листовая репа	7,93 4,32 – 11,88	1,60 0,11 – 3,38	–
Татсой	7,78 2,80 – 12,56	1,24 0,15 – 3,46	25,50 13,00 – 38,00

* — среднее, ** — диапазон (здесь и в табл. 2).

Таблица 2. Содержание биологически активных веществ у восточно-азиатских типов *Brassica rapa* L. (в мг/100 г)

Капуста	Аскорбиновая кислота	Хлорофиллы а и b	Каротиноиды	Сумма каротиноидов	β-Каротин	Глюкозинолаты
Пекинская	33,86* 21,2 – 145,20**	115,50 64,22 – 236,25	20,96 4,71 – 38,41	7,45 3,6 – 15,54	4,84 2,96 – 10,18	4,72 1,24 – 11,80
Китайская	22,45 19,5 – 83,60	74,14 24,28 – 163,25	14,44 2,65 – 30,30	5,07 0,89 – 18,89	3,08 0,14 – 7,12	13,30 0,60 – 40,00
Японская	37,79 17,3 – 126,72	125,46 59,50 – 163,18	20,78 5,38 – 34,17	5,59 1,62 – 12,40	5,09 1,69 – 7,08	9,90 2,90 – 16,30
Листовая репа	39,20 12,60 – 92,40	109,78 67,72 – 164,99	23,00 2,21 – 36,78	5,71 2,41 – 8,70	4,67 2,05 – 7,40	12,41 7,50 – 18,44
Татсой	41,59 15,7 – 124,08	114,80 74,98 – 231,37	22,90 15,78 – 29,38	7,58 3,25 – 15,30	4,66 3,00 – 6,38	9,57 2,60 – 25,78

растениях также наблюдались большие различия в содержании сахаров от 0,05 до 4,70%. Некоторые культивируемые виды пекинской капусты с овальным кочаном Мацусима, Кага, Хоторен (var. *cephalata* f. *ovata*) содержали наивысшее количество сахара (более 1,5%), то же самое наблюдали для культивируемого типа Сьюсман (китайская капуста) и гибридов (*chinensis* × *narinosa*). Эти формы используются для варки и приготовления ким-чи.

По содержанию белка в вегетативной массе образцы восточно-азиатской капусты можно отнести к среднебелковым капустам — средний многолетний показатель для них составил 14% с амплитудой изменчивости от 7 до 38% (из расчета на сухое вещество). К высокобелковым можно отнести типы пекинской капусты и татсой (среднее содержание 26,07 и 25,5%, соответственно). Самое высокое содержание белка отмечено в сортах цилиндрической кочанной пекинской капусты сортотипа Гранат (var. *cephalata* f. *cylindrica*) — в среднем 22,6%. Данный сортотип является одним из самых популярных в Северном Китае, центральная жилка используется для приготовления вторых блюд на пару. В пределах других подвидов самое высокое содержание белка наблюдали в культивируемом типе Сьюсман (китайская капуста) и гибридах (*chinensis* × *narinosa*).

Ценность зеленных овощных культур определяется высоким содержанием аскорбиновой кислоты (витамина С). Нами обобщены результаты многолетних исследований по изменчивости концентрации аскорбиновой кислоты в восточно-азиатских видах капусты. Концентрация аскорбиновой кислоты существенно изменяется в зависимости от подвидов *B. rapa*, используемого органа, сортовых особенностей. Самое высокое содержание аскорбиновой кислоты найдено в следующих культивируемых типах: пекинская капуста (рис. 1) — Дунганская, Хиросимана, Кага (центр происхождения и разнообразия — Северный и Северо-Восточный Китай); китайская капуста (рис. 2) — Тайсай и Ю-тсай; татсой — Та-гу-тсай; японская капуста — Мибуна; листовая репа, а также гибриды между *chinensis* и *narinosa*.

В условиях пониженной освещенности (северо-западная зона РФ) сложно выращивать и получать стабильные урожаи овощной продукции. Содержание пигментов является важным фактором, обеспечивающим эффективность светопоглощения растениями. Известно, что повышенное содержание хлорофилла а и осо-

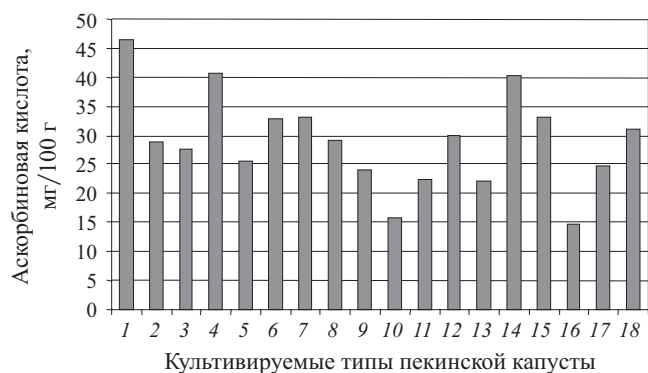


Рис. 1. Содержание аскорбиновой кислоты в 18 типах пекинской капусты: 1 — Дунганская, 2 — Мана, 3 — Широпа, 4 — Хирошимана, 5 — Шантунг, 6 — Сяо, 7 — Нагасаки, 8 — Чиримен, 9 — Чосен, 10 — Кашин, 11 — Чи-Фу (Wong-Bok), 12 — Мацусима, 13 — Хоторен, 14 — Кага, 15 — Аичи, 16 — Нозаки, 17 — Гранат (Michihli), 18 — Да-зин-коу

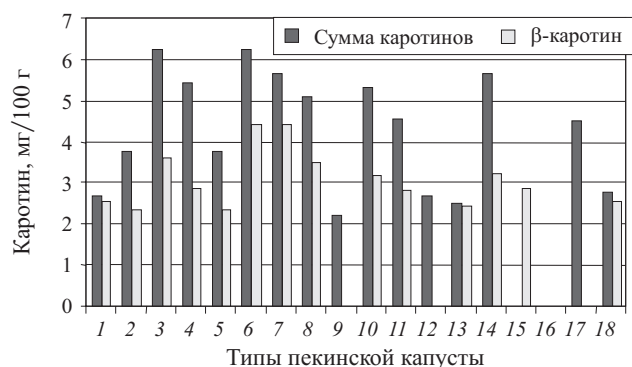


Рис. 3. Содержание каротина у 18 типов пекинской капусты: 1 — Дунганская, 2 — Мана, 3 — Широпа, 4 — Хирошимана, 5 — Шантунг, 6 — Сяо, 7 — Нагасаки, 8 — Чиримен, 9 — Чосен, 10 — Кашин, 11 — Чи-Фу (Wong-Bok), 12 — Мацусима, 13 — Хоторен, 14 — Кага, 15 — Аичи, 16 — Нозаки, 17 — Гранат (Michihli), 18 — Да-зин-коу

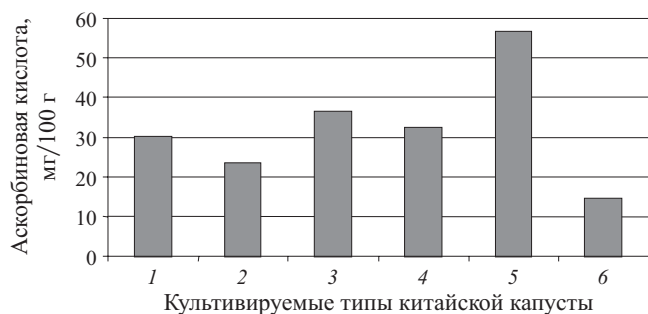


Рис. 2. Содержание аскорбиновой кислоты у 4 типов китайской капусты и ее гибридов: 1 — Сьюсман, 2 — Пиорбай, 3 — Тайсай, 4 — Ю-Тсай; гибриды: 5 — *B. rapa ssp.chinensis* × *ssp.narinosa*, 6 — *B. rapa ssp.chinensis* × *ssp.rapa*

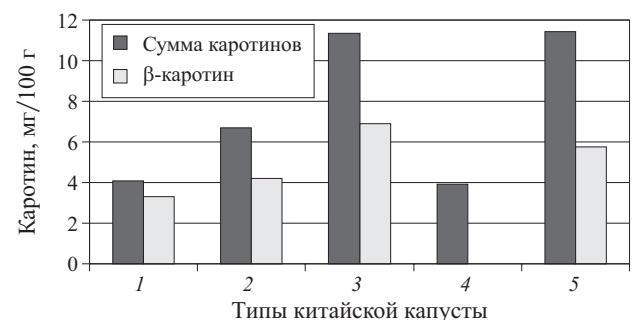


Рис. 4. Содержание каротина у трех типов китайской капусты и гибридов с ней: 1 — Сьюсман, 2 — Тайсай, 3 — Ю-Тсай, 4 — *B. rapa ssp.chinensis* × *ssp.narinosa*, 5 — *B. rapa ssp.chinensis* × *ssp.rapa*

бенно хлорофилла b расширяет возможность поглощения энергии в длинноволновом и коротковолновом участках спектра [5]. Хлорофиллы встречаются как зеленые пигменты во всех фотосинтетических тканях растений. Для людей и животных хлорофиллы играют важную роль в питании, так как увеличивают количество гемоглобина и эритроцитов в крови.

Наши данные по изучению видов *B. rapa* показали, что диапазон изменчивости суммарного содержания хлорофиллов а и b довольно широк: от 3 (китайская капуста) до 236 мг/100 г (пекинская капуста). Высокое содержание хлорофиллов обнаружено в сортах розеточной капусты (максимум 231,37 мг/100 г) и пекинской капусте (максимум 236,25 мг/100 г). Наиболее богатыми источниками хлорофиллов являются следующие культивируемые типы: Ю-тсай (китайская капуста), Чиримен, Нозаки, Гранат (пекинская капуста), Хризантемум и Та-гу-тсай (розеточная капуста), Мизуна и Мизуна (японская капуста).

Каротиноиды, или C_{40} тетратерпеноиды, являются чрезвычайно широко распространенной группой жирорастворимых пигментов, найденных во всех видах растений. В растениях каротиноиды выполняют две основные функции — добавочных пигментов в процессах фотосинтеза и окраски цветов и плодов. Они часто

присутствуют наряду с хлорофиллом во всех зеленых тканях растений и поэтому зеленые овощи являются хорошими источниками каротинов, хотя молекулы хлорофилла часто маскируют цвет каротинов.

Содержание каротиноидов в нашем изучении колебалось от 2 (китайская капуста) до 38 мг/100 г (пекинская капуста). Каротиновая фракция составляет от 25 (лиственная репа) до 36% (пекинская капуста), а ксантофилловая фракция: от 64 до 75% от общего количества каротиноидов. Следует отметить, что каротин в восточно-азиатских капустях состоит от 61 (китайская, розеточная капуста) до 91% (японская капуста) из наиболее активной β-формы. Источники высокого содержания β-каротина находятся в сорто типах Хирошимана, Сирона, Сяо, Нозаки, Гранат (пекинская капуста, рис. 3), Ю-тсай (естественный гибрид китайской и розеточной капусты, относимый к китайской капусте, рис. 4), Та-гу-цай (розеточная капуста, сортотип выделяется высоким содержанием биологически активных веществ), Мизуна (японская капуста).

Отмечено широкое варьирование содержания глюкозинолатов среди капустных культур (табл. 2). Низким содержанием выделились сорта сортотипов Шантунг, Сяо, Чиримен, Хирошимана (пекинская капуста, листовые и полукочаные салатные формы), Сьюсман

(китайская капуста, самый популярный сортотип), Та-гу-тсай (розеточная капуста) и Мизуна. Высокий уровень глюкозинолатов был отмечен в сортотипах китайской капусты: Кашин, Чосен (var. *laxa*), Нагасаки (var. *infarcta*), Нозаки (var. *cephalata*) и Хризантема (розеточная капуста).

Заключение

Высокие пищевые достоинства, урожайность, скороспелость восточно-азиатских капуст заслуживают внимания для расширения ассортимента овощных культур России, а выделенные коллекционные образцы можно использовать в овощеводстве и селекционной практике.

Соловьева А. Е., канд. биол. наук;

Артемяева А. М. канд. с.-х. наук;

Всероссийский НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова

ЛИТЕРАТУРА

1. Rosa E. A. S. Chemical composition. Biology of Brassica coenospecies. — Amsterdam – Lausanne – New York – Oxford – Shannon – Singapore – Tokyo, 1999. — P. 315 – 357.
2. King G., Barker G. Helth, Medical and clinical benefits of Brassica consumption. — HRI – Wellesbourne. Nov., 2003. www.brassica.info.
3. Diederichsen A. Brassica oleracea group // Mansfelds encyclopedia of agricultural and horticultural crops (except ornamental) / Ed. Hanelt P. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Resources. — Berlin – New York: Springer. — 2001. — P. 1436 – 1446.
4. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. Методы биохимического исследования растений. — Л.: Агропромиздат, 1987. — 430 с.
5. Лебедев С. И., Кирицева О. Х. О роли пигментов пластид в процессе роста сельскохозяйственных растений // Физиол. растений. — 1966. — Т. 13, вып. 5. — С. 781 – 789.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ЭФИРНОГО МАСЛА РАСТЕНИЙ РОДА *Monarda* (*Lamiaceae*), КУЛЬТИВИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА

О. Е. Вишневецкая, А. Л. Шаварда, А. Е. Соловьева, О. А. Зверева

Виды *M. fistulosa*, *M. didyma* и *M. citriodora* изучены в условиях северо-западного региона России (Ленинградская область) по составу эфирных масел. Показано, что наиболее богатым компонентным составом эфирных масел обладает *M. didyma*. *M. citriodora* накапливает наибольшее количество основного фенольного компонента – карвакрола. Все это делает *M. didyma* и *M. citriodora* наиболее ценными для практического использования в северо-западном регионе России.

Введение

Род *Monarda* L. (монарда) представлен многолетними травянистыми растениями из семейства *Lamiaceae* (яснотковые). В мировой флоре существует более 20 видов рода монарда, родиной которых является Северная Америка (в основном южная и центральная часть США), а также Канада. Во многих странах Европы и Америки монарда введена в культуру как декоративное, пряно-ароматическое и лекарственное растение [1, 2]. В России монарда встречается только в условиях культуры в европейской части страны, на Урале и в Сибири. Наиболее интересными видами монарды, достаточно широко культивируемыми в нашей стране, являются *Monarda fistulosa* (монарда дудчатая), *Monarda didyma* (монарда двойчатая) и *Monarda citriodora* (монарда лимонная). Как перспективное эфиромасличное растение монарда изучалась в Никитском ботаническом саду. Показано, что эти растения дают высокий выход эфирных масел (до 2,4% в расчете на сухой вес), обладающих бактерицидной, антигельминтной, антибиотической активностью, иммуномодулирующим эффектом и используемых также для

ингаляций при заболеваниях верхних дыхательных путей. В эфирном масле монарды идентифицировано более 20 компонентов, основным из которых является тимол (60 – 72%) [3, 4].

Опубликованные на сегодняшний день работы по анализу химического состава эфирных масел монарды касаются лишь растений, возделываемых на южном берегу Крыма, Северном Кавказе, Московской области и Сибирском регионе [3 – 6]. Состав эфирных масел видов монарды, выращиваемой в Ленинградской области, ранее не изучался.

В настоящей работе приведены результаты изучения химического состава эфирных масел монарды дудчатой, монарды двойчатой и монарды лимонной, культивируемых в условиях северо-западного региона РФ.

Методы исследования

Исследовали образцы растений *M. fistulosa*, *M. didyma* и *M. citriodora* второго года жизни, полученные из семян репродукции Краснодарского края (2000 г). Растения возделывали как садовые декоративные и пряно-ароматические культуры на хорошо удобренной почве

при естественном увлажнении. Агротехнические приемы по уходу за растениями осуществляли по стандартным методикам, принятым в ВИР. Рассадку выращивали в теплице (посев семян в начале апреля) и после формирования 6–8 пар листьев высаживали в открытый грунт по схеме 70 × 35. Растения второго года жизни были высажены в конце мая. Растения срезали выборочно в период массового цветения конца августа – середины сентября.

Экстракцию эфирного масла проводили двумя методами. К образцу *M. didyma* применяли метод перегонки водяным паром с использованием приемника А. С. Гинзбурга. Отбирали пробу растительного материала массой 300 г. Экспозиция перегонки составляла 30 мин. Эфирное масло остальных образцов экстрагировали с использованием дихлорметана. Навески растительного материала по 5 г растирали 3 мин в растворе дихлорметана, после чего фильтровали. Экстракт концентрировали под вакуумом с помощью роторного испарителя.

Эфирное масло подвергали органолептическому и химическому анализам. Органолептически определяли цвет и запах масла.

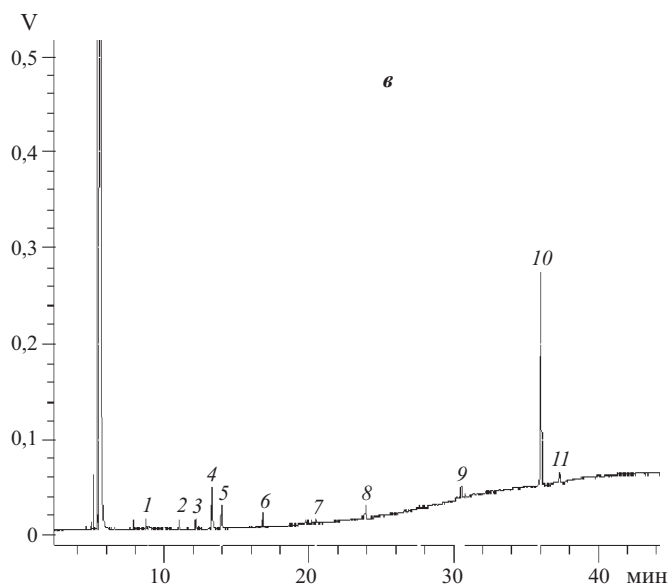
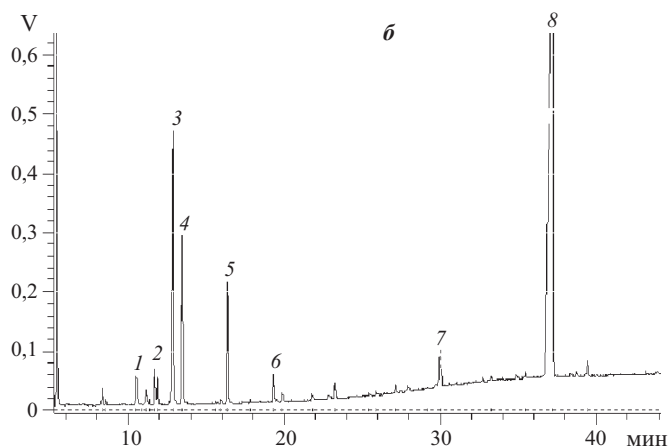
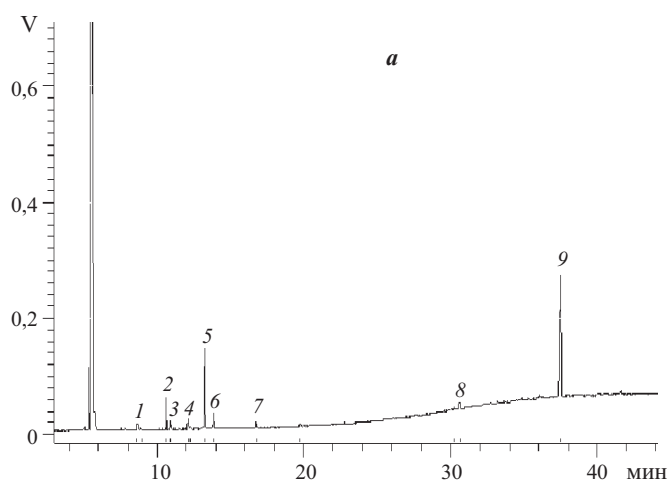
Компонентный состав эфирного масла анализировали методом газожидкостной хроматографии. Использовали модифицированный хроматограф “ЛХМ-8МД” с системой сбора хроматографических данных “Unichrom” (New Analytical System Ltd.), кварцевую капиллярную колонку длиной 50 м с внутренним диаметром 0,2 мм, с жидкой фазой ХЕ-60 при программировании изменения температуры термостата от 80 до 200°C со скоростью 4°C/мин. Газ носитель — гелий. Параметры ввода пробы: объем пробы 0,7 µl; коэффициент деления потока 1:30. Для фиксации хроматограммы, измерения площадей пиков, индексов удерживания и содержания процентной доли каждого компонента в масле использовали аналитическую программу “Unichrom™” (версия 4.6.9.567). Сравнительную идентификацию соединений в пробах проводили с помощью арифметических индексов удерживания. В качестве свидетелей использовали C₁₀, C₁₅ и C₂₀ углеводороды с известными постоянными индексами удерживания. Общий вид хроматограмм приведен на рисунке.

Результаты и обсуждение

Полученное из растений монарды эфирное масло независимо от вида представляет собой мутно-желтую жидкость, обладающую сильным приятным пряным ароматом.

У всех изученных видов обнаружено свыше 30 компонентов, из которых было идентифицировано 26. Результаты представлены в таблице.

Эфирные масла рассматриваемых видов различаются не только по наличию или отсутствию отдельных веществ, но и по их процентному содержанию в масле. Основные компоненты эфирного масла монарды — тимол и карвакрол, их содержание превышает 50%. Это



Газожидкостные хроматограммы образцов эфирных масел *Monarda sp.* (цифрами обозначены вещества, содержание которых превышает 1%): а — *M. fistulosa*: 1 — α-туйен; 2 — β-пинен; 3 — мирцен; 4 — β-фелландрен; 5 — γ-терпинен; 6 — пара-цимен; 7 — 1-октен-ол-3; 8 — карвон; 9 — карвакрол; б — *M. didyma*: 1 — β-пинен; 2 — β-фелландрен; 3 — γ-терпинен; 4 — пара-цимен; 5 — 1-октен-ол-3; 6 — терпинен-4-ол; 7 — карвон; 8 — карвакрол; в — *M. citriodora*: 1 — α-туйен; 2 — мирцен; 3 — β-фелландрен; 4 — γ-терпинен; 5 — пара-цимен; 6 — 1-октен-ол-3; 7 — кариофилен; 8 — гермакрен D; 9 — карвон; 10 — тимол; 11 — карвакрол

Состав эфирного масла растений рода *Monarda* L., по данным газожидкостной хроматографии

Компонент эфирного масла	Содержание в масле, %		
	<i>M. fistulosa</i>	<i>M. didyma</i>	<i>M. citriodora</i>
1. α -Туйен	1,6	0,8	2,0
2. α -Пинен	0,3	0,2	0,5
3. β -Пинен	4,2	—	—
4. Мирцен	2,1	1,9	2,0
5. 1	—	0,1	0,1
6. β -Терпинен	—	0,3	0,3
7. β -Фелландрен	2,7	2,7	2,4
8. Лимонен	0,4	0,4	0,5
9. γ -Терпинен	24,8	22,5	9,8
10. пара-Цимен	4,4	4,8	5,0
11. 2	—	0,0	—
12. 3	—	0,0	—
13. Оцимен	—	0,0	—
14. β -Терпинен	—	0,1	—
15. 1-Октен-ол-3	1,5	2,4	2,8
16. Гексагидроментофуранол	—	0,0	—
17. Терпинен-4-ол	0,7	0,8	0,8
18. Кариофиллен	—	0,1	1,1
19. Тридеканол	—	0,1	—
20. Гермакрен D	—	0,2	2,8
21. γ -Кадинен	—	0,1	—
22. Г-Муролен	—	0,1	0,6
23. δ -Кадинен	—	0,7	0,4
24. Апиол	0,2	0,3	0,2
25. Карвон	2,0	3,2	2,6
26. 4	—	0,1	0,5
27. Ацетат тимола	—	0,1	—
28. Тимол	—	0,4	62,4
29. Карвакрол	55,0	57,2	3,4
30. Додецилкрилат	—	0,1	—

вещества фенольной природы, отличающиеся положением гидроксильной группы в бензольном кольце, легко переходящие друг в друга. Из литературных источников известно, что соотношение тимола и карвакрола может меняться у растений в течение года в зависимости от условий окружающей среды. Эти соединения обладают сильным антисептическим действием, что делает их наиболее значимыми компонентами эфирного масла монарды. Кроме того, в эфирном масле разных видов монарды в значительных количествах содержатся γ -терпинен (до 24,8%), пара-цимен (до 5,0%), 1-октен-ол-3 (до 2,8%), гермакрен D (до 2,8%), β -фелландрен (до 2,7%), мирцен (до 2,1%).

По количеству тимола и карвакрола изучаемые виды в северо-западном регионе слабо отличаются от

аналогичных растений, выращенных в других регионах. Примечательно, что основным фенольным компонентом у двух из трех исследованных видов в северо-западном регионе является не тимол, а карвакрол (таблица). При этом тимол обнаруживается лишь в следовых количествах. Кроме того, в эфирном масле монарды в нашем регионе не был обнаружен линалоол, а содержание γ -терпинена у *M. fistulosa* и *M. didyma* превысило 20%. Литературные данные свидетельствуют о содержании линалоола до 20% и более низких количествах γ -терпинена у видов монарды, выращенных в других регионах.

Следует отметить, что в целом состав эфирного масла монарды более сложен и не ограничивается идентифицированными нами компонентами. Сложность в выделении и определении минорных компонентов (менее 0,1% от состава смеси) не позволила нам дать детальную характеристику состава исследованных эфирных масел.

По нашим данным, наиболее богатым компонентным составом эфирных масел обладает *M. didyma*, а *M. citriodora* накапливает наибольшее количество основного фенольного компонента — карвакрола. Все это делает *M. didyma* и *M. citriodora* наиболее ценными для практического использования в северо-западном регионе России.

Заключение

Учитывая высокое содержание тимола и карвакрола у всех исследованных нами видов, можно рекомендовать их для дальнейшего изучения как перспективных эфирносов в условиях северо-запада России.

ЛИТЕРАТУРА

1. McClintock E., Epling C. // *Univ. California Publ. Bot.* — 1942. — V. 20, № 2. — P. 147–194.
2. Scora R. W. // *Там же.* — 1967. — V. 41. — P. 1–71.
3. Опарин Р. В., Покровский Л. М., Высочина Г. И., Ткачев А. В. // *Химия растит. сырья.* — 2000. — № 3. — С. 19–24.
4. Серкова А. А., Тютюнник В. И., Халявина С. В., Платонова Т. В. // *2-й междунар. симпоз. "Новые и нетрадиционные растения и перспективы их практического использования"*. — Пушкино, 1997. — Т. 2. — С. 88–90.
5. Бакова Н. Н., Хлыпенко Л. А., Работягов В. Д. / *Int. Meeting of Young Scientists in Horticulture: Mater. of the 7th Int. conf.* — Lednice, 1999. — P. 144–146.
6. Замуреев В. А., Клюев Н. А., Бочаров Б. В., Кабанов В. С. // *Химия природ. соед.* — 1989. — № 5. — С. 646–649.

О. Е. Вишневецкая, магистр, СПб Государственный университет

А. Л. Шаварда, канд. биол. наук, Ботанический институт им. В. Л. Комарова, РАН

А. Е. Соловьева, канд. биол. наук;

О. А. Зверева, канд. с.-х. наук;

Всероссийский НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова

БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИРГИ ОЛЬХОЛИСТНОЙ (*Amerlanchier alnifolia* Nutt.) В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

С. А. Стрельцина, Л. А. Бурмистров

Изучены плоды 12 сортов ирги ольхолистной (*Amerlanchier alnifolia* Nutt.) репродуцированных на Павловской опытной станции ВИР им. Н. И. Вавилова. Анализировали: содержание сухих веществ, сахаров, свободных титруемых кислот, пектиновых веществ, каротиноидов, аскорбиновой кислоты и биофлавоноидов. Исследования показали, что плоды ирги в условиях северо-западной зоны РФ по сравнению с плодами тех же сортов, но выращенными в более южных районах, накапливали несколько меньше сухих веществ и сахаров, но больше свободных кислот и пектиновых веществ. Плоды ирги содержат невысокие количества каротиноидов и среднее аскорбиновой кислоты. Одновременно ирга является ценным накопителем биологически активных фенольных соединений, превосходя по этому признаку многие другие плодовые и ягодные культуры.

Введение

Ирга относится к роду *Amerlanchier* Medic. семейства *Rosaceae* Juss. Это ценная плодовая культура. Она не требовательна к уходу, скороплодна, очень зимостойка, ежегодно плодоносит, дает мелкие, но сочные сладкие, вкусные плоды. Ирга — очень пластичная и неприхотливая культура. Она одинаково хорошо растет на почвах различного механического состава и кислотности. В зоне избыточного увлажнения ирга растет на достаточно влажных почвах, иногда даже заболоченных, а в районах с недостаточным количеством осадков показала себя засухоустойчивым растением. Ирга представляет особенный интерес для нечерноземной зоны плодоводства северо-запада РФ. Всего насчитывают около 25 видов ирги. В России больше распространена ирга круглолистная (*A. rotundifolia*), которая в диком виде произрастает в Крыму и на Кавказе. Садоводам-любителям эта культура известна под названием “каринка”. Отечественных сортов ирги пока нет, поэтому интерес могут представлять канадские и американские сорта, относящиеся к другому виду — ирге ольхолистной (*A. alnifolia*). Родина этого вида — Северная Америка. В природных условиях ирга произрастает на севере США и юге Канады [1, 2]. Это одна из основных плодовых культур индейцев Северной Америки. Есть попытки выращивать формы ирги ольхолистной (но не сорта) на юге России, а также на Украине и в Белоруссии [3, 4].

Плоды ирги содержат более 10% сахаров, невысокое количество органических кислот; сахарокислотный коэффициент составляет от 19 до 60 [3, 5, 6]. Поэтому плоды ирги пригодны для употребления в свежем виде в качестве десерта. В народной медицине издавна использовали противовоспалительные и асептические свойства плодов этой культуры. Плоды ирги рекомендуют больным сердечно-сосудистыми и желудочно-кишечными заболеваниями. Сок из свежих плодов обладает вяжущими свойствами, его используют как лечебный напиток, а отвары — для полоскания полости

рта и при ангинах [3]. Эти свойства обусловлены содержащимися в ней разнообразными биологически активными соединениями. Плоды содержат: тиамин — 30 мкг %, рибофлавин — 12 мкг %, минеральных веществ — 0,9% [3]. По данным разных авторов, в плодах ирги содержатся сравнительно большие количества железа, калия, магния и алюминия; аскорбиновой кислоты — 8 – 61 мг/100 г, каротиноидов — 0,05 – 0,29 мг/100 г, биологически активных фенольных соединений (биофлавоноидов) — 0,5 – 1,6% [3, 4, 6, 7]. Среди биофлавоноидов обнаружены оксикоричные кислоты, катехины, проантоцианидины, флавонолы и антоцианы [3, 7, 8]. Биофлавоноиды обладают капиллярно-укрепляющими, противовоспалительными и желчегонными свойствами. Они нормализуют обмен веществ, тонизируют работу сердечной мышцы [9 – 11]. Большинство фенольных соединений являются, кроме того, антиоксидантами [9, 10, 12]. Некоторые биофлавоноиды замедляют рост клеток злокачественных опухолей *in vitro* [10, 12]. Показано, что уровень антиоксидантной и противоопухолевой активности растительных экстрактов возрастал при увеличении суммарного содержания фенольных соединений [12].

За 20 последних лет возрос коммерческий интерес к ирге как к технической культуре. Ее используют как сырье для пищевой промышленности. Из плодов ирги получают высококачественное варенье, при изготовлении которого требуется сравнительно немного сахара (примерно в 3 раза меньше, чем при приготовлении варенья из большинства других плодов и ягод) [5]. Это обусловлено высоким содержанием сухих веществ (более 20%), сахаров и, возможно, наличием природных консервантов, в роли которых могут выступать некоторые фенольные соединения [9].

Качество продуктов, приготовленных из ирги, во многом зависит от химического состава плодов. Для производства мармелада, желе и пастилы необходимы сорта с высоким содержанием пектиновых веществ, сахара, сухих веществ и органических кислот.

Акад. В. В. Пашкевич отмечал особую ценность ирги для виноделия. Крепость вина из нее — 8 – 10% [5]. Для виноделия требуются сорта ирги, сочетающие повышенное содержание сахаров, танинов, но не высокое пектиновых веществ. Для производства соков, компотов, вин лучше подходят сорта ирги со сравнительно низким содержанием сухих веществ. Определенную проблему в селекции ирги представляет характерная для этой культуры пониженная кислотность. По данным разных авторов, содержание органических кислот составляет всего от 0,2 до 0,4% [3, 6].

Ирга ольхолистная является новой, пока еще малоизученной культурой для северо-запада России, где природно-климатические условия существенно отличаются от таковых севера США и юга Канады, в селекционных центрах которых впервые были получены ее сорта. По мнению ряда авторов, химический состав ирги существенно зависит от условий произрастания [3, 5, 6]. Поэтому многие показатели как общего химического состава, так и биологически активных веществ ирги ольхолистной, произрастающей в условиях северо-запада России, могут отличаться от химического состава сортов и форм этого вида, произрастающих в районе североамериканских прерий или юге России и Украины.

Цель данной работы — изучение химического состава ягод сортов ирги ольхолистной, селекции Канады и США в условиях северо-запада России. В ходе работы предстояло определить общую кислотность, содержание сухих веществ и сахаров, аскорбиновой кислоты, каротиноидов, пектиновых веществ и различных групп биофлавоноидов, а также выделить сорта и формы ирги, отличающиеся наилучшим сочетанием химических компонентов для технического использования, а также обеспечивающие наибольший лечебно-профилактический эффект при употреблении плодов в свежем виде.

Методы исследования

Объектом исследования служили плоды ирги ольхолистной в стадии потребительской зрелости. Изучены 12 сортов этого вида канадской селекции, выращенные на Павловской опытной станции Всероссийского НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова (ВИР). Сорта изучали в течение 2002 – 2005 гг.

Содержание питательных и биологически активных веществ определяли классическими методами, принятыми в отделе биохимии ВИР. Массу сухих веществ определяли весовым методом, моносахара и сумму сахаров — по методу Бертрана, общую кислотность — титрованием экстракта раствором щелочи; аскорбиновую кислоту — титрованием краской Тильманса; пектины — карбозольным методом, каротиноиды, β -каротины, хлорофиллы а и b — спектрофотометрическим методом [13].

Состав фенольных соединений определяли в спиртовых экстрактах. Содержание оксикоричных кислот и

флавонолов — хроматографическим (двумерная бумажная хроматография) и спектрофотометрическим методами; катехинов и проантоцианидинов — методом быстрого фракционирования на колонках полиамида; антоцианов — спектрофотометрическим методом [14].

Результаты и обсуждение

По данным разных авторов, ирга характеризуется устойчивым высоким накоплением сухих веществ. По нашим данным, содержание этих веществ составило 16,7 – 23,4%. Это несколько ниже результатов, приводимых в литературе, например, в плодах распространенного сорта Smoky содержание сухих веществ составляло 20 – 23% [2, 6], а по нашим данным — 16,3 – 19,1%. В то же время нами выявлены существенные межсортные различия по этому признаку. Выделены группы сортов (Persson, ВИР-24, Honey Wood, Lee-2, Forestburg) с высоким содержанием сухих веществ (19,7 – 23,4%) и со сравнительно невысоким их содержанием — 16,7 – 18,5% (Smoky, L-8, Notheline, Martin, Thissen) (табл. 1). Наибольшим содержанием сухих веществ отличались сорт Persson и селекционная форма ВИР-24, а наименьшим — L-8.

Высокое содержание сахаров в плодах ирги является одним из ценных свойств этой культуры. Благодаря этой особенности появляется возможность уменьшать количество добавляемого сахара, которое требует технологический процесс. Это делает использование ирги в пищевой промышленности более рентабельным, чем использование многих других плодов и ягод. По нашим данным, содержание суммы сахаров в сортах ирги ольхолистной составило 8,4 – 10,2% (преобладали моносахара — 6,4 – 9,8%). Это несколько ниже, чем эти сорта накапливали в условиях Канады: в отдельные годы содержание сахаров доходило до 19% [2]. Таких результатов мы не получили. За 4 года исследований максимальное содержание сахаров составило в очень теплом 2005 г. 12,3% (сорт Martin) и 13,0% (селекционная форма ВИР-24). Погодные условия (особенно сумма температур) очень сильно влияли на накопление сахаров. В 2004 г., характеризующемся невысокими температурами за вегетационный период, содержание сахаров составило всего 6,5 – 8,3%. В то же время следует отметить, что плоды ирги накапливали больше сахаров по сравнению с другими плодовыми и ягодными культурами, произрастающими на Павловской опытной станции ВИР.

Наибольшим содержанием сахаров за все годы изучения отличались сорта Persson, Martin, Thissen и селекционная форма — ВИР-24. Нами выделены сорта, сочетающие высокое содержание сахара и сухих веществ, а также сорта с высоким содержанием сахаров, но со сравнительно низким содержанием сухих веществ (табл. 1).

Общая или титруемая кислотность в плодах ирги является также важной характеристикой ее общего химического состава. Пониженная кислотность плодов

ирги ограничивает ее использование в ряде пищевых производств и делает необходимым купажирование ирги с более кислыми плодами других культур. По нашим данным, в условиях Санкт-Петербурга ирга характеризовалась несколько более высокой общей кислотностью. Ее уровень в изученных сортах и формах составил 0,39 – 0,72%. Важно, что мы выделили сорта, сочетающие высокое содержание сахара и титруемых кислот: сорт Thissen и селекционная форма ВИР-24 (табл. 1).

Сок из ирги обладает хорошей желирующей способностью. Известно, что она во многом определяется содержащимися в растительном экстракте пектиновыми веществами. По данным [3], в плодах различных видов ирги в условиях юга Украины содержится от 0,25 до 0,50% пектиновых веществ. По нашим данным, плоды накапливают от 0,24 до 0,95% пектиновых веществ. Преобладающей в них была фракция протопектинов — от 0,12 до 0,68%. Изученные сорта существенно различались по накоплению пектиновых веществ. Наибольшее содержание было найдено в сорте Persson и селекционной форме ВИР-24. Наименьшим содержанием пектиновых веществ отличались сорта Martin, Smoky и L-8. В их плодах содержалось от 0,24 до 0,37% этих соединений. В сортах с небольшим содержанием пектинов количество протопектинов и растворимых пектинов было почти одинаковым (табл. 2).

Аскорбиновая кислота, или витамин С, является одним из основных биологически активных соединений плодов. Содержание этого витамина в плодах ирги, произрастающей в окрестностях Санкт-Петербурга, по нашим данным, составило 25,0 – 43,3 мг/100 г. Примерно столько же накапливали формы и сорта ирги в условиях Канады и юга Украины [3, 6]. Наибольшим содержанием аскорбиновой кислоты отличилась форма ирги ВИР-24. Ирга относится к культурам со средним содержанием витамина С.

Определен состав липофильных пигментов ирги. Содержание хлорофилла а составило от 0,39 до 1,17 мг/100 г, хлорофилла b — от 0,882 до 2,52 мг/100 г. Сумма каротиноидов составила от 1,50 до 2,02 мг/100 г, β-каротина

Таблица 1. Общий химический состав плодов ирги (в %)

Сорт	Сухое вещество	Сахар	Титруемая кислотность	Сахарокислотный коэффициент
Persson	19,6 – 32,3* 23,4**	7,31 – 11,6 10,07	0,47 – 0,58 0,53	15,6 – 20,0 19,0
ВИР-24	22,7 – 23,7 23,2	7,2 – 13,2 10,2	0,58 – 0,69 0,64	12,4 – 19,1 15,9
Honey Wood	17,4 – 30,8 21,64	6,81 – 11,2 9,27	0,51 – 0,66 0,59	13,4 – 17,0 15,7
Lee-2	20,3 – 24,4 22,00	6,5 – 10,6 9,07	0,41 – 0,66 0,52	15,9 – 16,1 17,44
Thissen	16,6 – 20,9 18,73	7,2 – 12,3 9,75	0,42 – 0,76 0,59	16,2 – 17,1 16,5
Martin	16,7 – 19,0 17,85	8,3 – 11,6 9,95	0,42 – 0,48 0,45	19,8 – 24,2 22,1

Здесь и в табл. 2 – 4: * — диапазон варьирования, ** — среднее значение признака.

— 0,189 – 0,302 мг/100 г сырого веса. Наибольшим содержанием отличались сорт Persson и селекционная форма ВИР-24. Наши данные подтверждают имеющиеся в литературе сообщения, что ирга не является ценным накопителем каротиноидов и хлорофилла [2].

Важной группой биологически активных веществ ирги является комплекс фенольных соединений или биофлавоноидов [9]. В плодах и ягодах наиболее часто встречаются оксикоричные кислоты, флавонолы, флаванолы (катехины и проантоцианидины), а также антоцианы.

Оксикоричные кислоты обладают противовоспалительным и ранозаживляющим действием. Для хлорогеновой, кофейной и пара-кумаровой кислот показана желчегонная, гепатозащитная активность. По нашим данным, основной оксикоричной кислотой ирги является кофейная. Однако в свободном виде она содержится в незначительных количествах. Подобные результаты были получены также при анализе плодов ирги круглолистной методом газожидкостной хроматографии [8]. В изученных сортах ирги ольхолистной содержание суммы оксикоричных кислот колебалось от 72,0 до 376,9 мг/100 г сырого веса. При этом содержание хлорогеновой кислоты составило 62 – 291 мг/100 г. Также обнаружено небольшое количество пара-кумаровой кислоты — от 12,0 до 69,0 мг/100 г (табл. 3), содержание которой очень сильно зависело от года выращивания. В 2004 – 2005 гг. в некоторых сортах (Honey Wood, Persson, Martin) это вещество вообще не было обнаружено, а в 2002 г. в этих же сортах его количество достигало 30 – 110 мг/100 г.

Таблица 2. Содержание пектиновых веществ в плодах сортов ирги (в % г на сырой вес)

Сорт	Растворимые пектины	Протопектины	Сумма пектинов
Persson	0,18 – 0,54* 0,28**	0,26 – 0,96 0,68	0,69 – 1,14 0,95
ВИР-24	0,22 – 0,39 0,30	0,50 – 0,72 0,61	0,73 – 1,12 0,92
Honey Wood	0,17 – 0,40 0,29	0,38 – 0,59 0,44	0,55 – 0,80 0,73
Martin	0,09 – 0,19 0,14	0,20 – 0,30 0,24	0,29 – 0,46 0,37
L-8	0,08 – 0,18 0,13	0,04 – 0,20 0,12	0,16 – 0,29 0,25

Таблица 3. Сорта ирги с высоким содержанием оксикоричных кислот

Сорт	Кислота, мг/100 г сырого веса			
	хлорогеновая	кофейная	пара-кумаровая	сумма
Persson	202 – 353* 291**	0,0 – 33,9 18,0	0,0 – 102,1 69,0	293 – 455 377
Smoky	152 – 157 154	0,0 – 10 7	28 – 63 45,5	195 – 215 205
Honey Wood	87,3 – 245 147	0,0 – 27,3 12,4	0,0 – 61,5 29,5	97,3 – 307 189
L-8	116,3 – 130 121	0,0 – 24,3 18,2	12,4 – 41,7 27,1	158,0 – 166,7 166,3
ВИР-24	116,0 – 132 121	13,5 – 26,1 22,1	34,4 – 122 75,1	191,1 – 254,2 218,2

Высоким содержанием хлорогеновой кислоты (от 220 до 353 мг/100 г) выделился сорт Persson. Имеются данные, что высокие концентрации хлорогеновой кислоты могут отрицательно сказываться на вкусе плодов, вызывая горький и терпкий привкус [9]. Однако какой-либо связи между вкусом плодов и содержанием этого вещества мы не обнаружили. В 2005 г. у некоторых сортов был отмечен вяжущий привкус. Но именно в этот год содержание оксикоричных кислот, и в том числе хлорогеновой, было наименьшим.

Другим очень важным классом фенольных соединений являются флаваны. В плодах содержатся мономерные или свободные катехины, ди-, три- и олигомерные катехины и проантоцианидины или танины, а также полимерные или конденсированные катехины. Эти вещества обладают сосудостроительным действием или Р-витаминной активностью. По этому показателю флаваны превосходят все другие классы фенольных соединений [9]. Мономерные катехины и проантоцианидины обладают противовоспалительным действием. Полимерные катехины способствуют выведению тяжелых металлов из организма человека и животных. Следует иметь в виду, что высокое содержание танинов необходимо для получения высококачественного вина.

Плоды ирги содержат: свободные катехины — от 64 до 163 мг/100 г, проантоцианидины — от 253 до 628 мг/100 г, конденсированные катехины — от 70 до 161 мг/100 г сырого веса. Наибольшим содержанием этих веществ отличались сорта Persson, Martin, Thissen и селекционные формы ВИР-17 и ВИР-24 (табл.4).

По данным разных авторов, в плодах ирги содержится от 30 [8] до 160 мг/100 г [5] флавонолов. Эти вещества, как и флаваны, и оксикоричные кислоты, относятся к биологически активным соединениям с сосудостроительным и противовоспалительным действием. По нашим данным, плоды ирги ольхолистной накапливали от 23,4 до 75,2 мг/100 г флавонолов. Содержание этих веществ в большей степени, чем содержание других фенольных соединений, зависело от погодных условий. В годы с оптимальными для ирги условиями их содержание было невысоким, а в годы с неблагоприятными условиями концентрация флавонолов резко (иногда в 5 – 10 раз) возрастала. У сорта Persson содержание флавонолов менялось от 14,5 (2005 г.) до

62,0 мг/100 г (2004 г.) и 133,6 мг/100 г (2002 г.). Подобная тенденция была отмечена и для сортов Honey Wood, L-8, Lee-2, ВИР-17 и ВИР-24. У других сортов содержание флавонолов в меньшей степени зависело от погодных условий. Ранее при изучении состава фенольных соединений плодов яблони и сливы показано, что высокая изменчивость содержания флавонолов, которые и являются стрессовыми метаболитами, наблюдается у наиболее пластичных — устойчивых к различным неблагоприятным условиям сортов [14]. Относится ли эта закономерность к сортам ирги, пока до конца не ясно. Это потребует дальнейшего изучения.

Антоцианы составляют до половины суммы всех фенольных соединений ирги [3]. Эти вещества также обладают высокой биологической активностью. Кроме того, антоциановые красители улучшают товарный вид продуктов, получаемых из ирги, придавая им красивый красный цвет. В изученных сортах эти вещества либо отсутствовали вовсе, либо содержались в количестве до 840 мг/100 г сырого веса. Наибольшим содержанием отличались сорта Thissen, Persson, ВИР-24. В то же время существует направление селекции ирги на создание светлых сортов. Плоды этих сортов не привлекают птиц. Однако показано, что имеется прямая и достаточно высокая корреляция между содержанием антоцианов в плодах и другими компонентами комплекса фенольных соединений [2]. Наши данные подтвердили эту тенденцию. Корреляция в разные годы составляла: между содержанием антоцианов и свободных катехинов — 0,77 – 0,90, антоцианов и хлорогеновой кислоты — 0,50 – 0,72; антоцианов и проантоцианидинов — 0,80 – 0,91. Таким образом, селекция на создание белоплодных и розовых сортов может привести к резкому снижению в них биофлавоноидов, что может, в свою очередь, негативно отразиться на технических и лечебных свойствах ирги.

Содержание биофлавоноидов (сумма оксикоричных кислот, флаванов, флавонолов и антоцианов) в плодах изученных сортов ирги составило 642 – 2330 мг/100 г сырого веса или 3,4 – 9,6% на сухой вес. Таким образом, ирга является ценным накопителем этих веществ. По содержанию биологически активных фенольных соединений ирга превосходит большинство плодовых и ягодных культур, таких как черная смородина, крыжовник, земляника, яблоня и даже клюква и брусника. Последние культуры изучались детально и рассматриваются как ценные источники антиоксидантов и антиопухолевых агентов [12].

Заключение

Исследования показали, что в условиях Санкт-Петербурга плоды ирги ольхолистной накапливали несколько меньше сухих веществ и сахаров по сравнению с условиями юга Канады и Украины. Тем не менее их содержание было достаточно высоким по сравнению с другими традиционными культурами северо-западной зоны РФ. По общей кислотности и содержанию пекти-

Таблица 4. Сорта ирги с высоким содержанием флаванов (в мг/100 г сырого веса)

Сорт	Свободные катехины	Конденсированные катехины	Проантоцианидины	Сумма флаванов
ВИР-24	208 – 269* 239**	188 – 204 192	623 – 820 721	1035 – 1277 1152
Thissen	145 – 162 152	121 – 150 131	683 – 760 722	978 – 1043 1005
Persson	149 – 182 163	132 – 208 161	325 – 996 628	885 – 1368 952
ВИР-17	148 – 159 153	91,0 – 120 108	523 – 601 577	762 – 880 838
Martin	99,6 – 122 111	112 – 359 234	315 – 656 486	549 – 867 831

новых веществ выращенные в условиях северо-западной зоны РФ плоды ирги часто превосходят таковые, произрастающие в более южных зонах плодоводства. Ирга содержит невысокие количества каротиноидов и средние — аскорбиновой кислоты, одновременно она является ценным накопителем биологически активных фенольных соединений, превосходя по этому признаку многие другие плодовые и ягодные культуры. В результате исследований выделены сорта ирги ольхолистной с высоким содержанием сухих веществ и сахаров (Persson и селекционная форма ВИР-24), с пониженным содержанием сухих веществ и высоким сахаров (Martin, Thissen), с высоким содержанием сахаров и общей кислотности (ВИР-24, Thissen), с высоким содержанием пектинов, сахаров, сухих веществ, антоцианов и других биофлавоноидов (Persson и селекционная форма ВИР-24) и с низким содержанием пектинов и высоким танинов (Martin).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурмистров Л. А. Ирга в Канаде // *Садоводство*. — 1981. — № 1–2. — С. 13–18.
2. Green R. C., Mazza G. Relationships between anthocyanins, total phenolics, carbohydrates, acidity and colour of Saskatoon berries // *Can. Inst. Sci. Technol. J.* — 1986. — V. 19, № 3. — P. 107–113.
3. Петрова В. П. Дикорастущие плоды и ягоды. — М.: Лесная промышленность, 1987. — 248 с.

4. Самородова-Бианки Г. Б., Стрельцина С. А. Исследование биологически активных веществ плодовых культур // *Метод. указания*. — Л.: ВИР, 1989. — 81 с.
5. Бурмистров Л. А. Ирга // *Малая энциклопедия садовода* / Под ред. А. А. Юшева. — М. — СПб., 2005. — 605 с.
6. Mazza G., Cacace J. E. Saskatoon berries as nutraceuticals and functional food ingredients // *Invited Paper: Presented at the Alberta Horticultural Congr. Edmonton, AB (nov. 13–14)*. — 2003. — 52 p.
7. Mazza G., Davidson C. G. Saskatoon berries: a fruit crop for the prairies // *New Crops* / Eds. Janick J., Simon J. E. — New York, 1993. — P. 516–519.
8. Нестерович Я., Задерновски Р., Пежинска-Корняк Г. и др. Характеристика феноловых кислот, содержащихся в плодах ирги круглолистной // *Матер. 2-го междунар. симпоз. "Новые и нетрадиционные растения и перспективы их практического использования"* (Пуццино, 16–20 июня 1997 г.). — М., 1997. — Т. 2. — С. 134–140.
9. Запрометов М. Н. Фенольные соединения. — М.: Наука, 1993. — 272 с.
10. Ho C. T. Phenolic compounds in food and their effects in health // *Antioxidants and cancer prevention*. — Washington, 1992. — P. 2–34.
11. Tripathi V. D., Rostogi R. P. Flavonoids in biology medicine // *J. Sci. Industr. Res.* — 1981. — V. 40. — P. 116–124.
12. Sun Jie, Chu Yi-Fang, Wu Xianzhong, et al. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits // *J. Agric. Food Chem.* — 2002. — V. 50, № 25. — P. 7449–7454.
13. Ермаков А. И., Арасимович В. В. и др. // *Методы биохимического исследования растений* / Под ред. А. И. Ермакова. — Л.: Агропромиздат, 1987. — 430 с.
14. Самородова-Бианки Г. Б., Стрельцина С. А., Трофимова Е. А. Роль флавоноидов в перестройке окислительного метаболизма в плодах яблони и сливы // *Тез. докл. V Всесоюз. симпоз. по фенольным соединениям*. — Таллин, 1987. — С. 137.
15. Нестерович В. А. Женьшень и другие лекарственные жемчужины в Белоруссии. — Гомель: Полеспечат, 2002. — 164 с.

Стрельцина С. А., канд. биол. наук; Бурмистров Л. А., канд. с.-х. наук;
Всероссийский НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова

СОСТАВ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СОРТОВ ЖИМОЛОСТИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЗОНЫ ПЛОДОВОДСТВА РФ

С. А. Стрельцина, А. А. Сорокин, М. Н. Плеханова, Е. В. Лобанова

Приведены данные о составе биологически активных фенольных соединений плодов жимолости синей (*Lonicera Caerulea* Rehd.). У 51 сорта из коллекции Павловской опытной станции ВИР им. Н. И. Вавилова обнаружены свободные и конденсированные катехины, проантоцианидины, хлорогеновые и кофейная кислоты, флавоны (гликозиды лютеолина) и флавонолы (рутин, изокверцетин), антоцианы. Показано, что последовательный отбор сеянцев жимолости по дегустационной оценке, крупноплодности, урожайности и зимостойкости может привести как к снижению суммы биофлавоноидов, так и к изменению их соотношения. Однако при контроле химического состава плодов в ходе селекции возможно создание сортов, сочетающих ценные хозяйственные признаки и лечебно-профилактические свойства дикорастущих форм. Выделены сорта, сочетающие хорошие показатели по хозяйственно-ценным признакам и высокие концентрации биофлавоноидов.

Введение

Жимолость (*Lonicera* L.) относится к семейству Жимолостные (*Caprifoliaceae* Juss). Среди более чем 200 видов этого рода съедобные плоды имеют лишь представители видов, относящихся к подсемии

жимолостей синих (*L. Caerulea* Rehd.). Они распространены в таежной зоне Евразии и Северной Америки.

До середины XX в. жимолость (ж.) синяя никогда не рассматривалась в Европе даже в перспективе как ягодное пищевое растение. В первых ботанических описаниях ж. синей ничего не говорится о ней как о съедоб-

ной ягоде. Однако местное население Камчатки, Забайкалья, Приморья и юга Сибири употребляло жимолость в пищу. В нашей стране произрастает большинство видов ж. синей. В 1940 – 1950 гг. сразу в нескольких регионах были начаты работы по селекции этой культуры, в том числе с 1947 г. на Павловской опытной станции, а с 1970 г. и на Дальневосточной опытной станции ВИР. В культуру в виде ягодного растения введены три вида — *Lonicera kamtschtica*, *L. turczaninowii* и *L. altaica*. В определении таксономического положения вышеназванных форм жимолости существуют разногласия [1, 2]. Мы придерживаемся мнения проф. М. Н. Плехановой (ВИР), выделившей три разновидности полиморфного вида (*L. caerulea* L.), а именно *L. caerulea* subsp. *kamtschatica* Pojark. Plekhanova (ж. камчатская), *L. caerulea* subsp. *venulosa* (maxim) Worosh. (ж. Турчанинова), *L. caerulea* subsp. *altaica* (Pall.) Plekhanova (ж. алтайская) [3].

Жимолость издавна использовалась как лечебное растение в народной медицине. Ж. алтайскую применяли при гипертонии, анемии, малярии, диарее, колитах, нарушении обмена веществ; ж. Турчанинова — при учащенном сердцебиении, сахарном диабете, ожирении, как жаропонижающее, антисептическое средство, ж. камчатскую — при болезни печени, язвенной болезни и др. [4, 5].

Лечебные свойства ягод жимолости обусловлены присутствием целого ряда биологически активных веществ. Жимолость — ценный источник витамина С (40 – 90 мг/100 г) [4, 6, 7]. Витамин К в ней содержится 0,06 – 0,10 мг/100 г, каротиноидов — 0,25 – 0,52 мг/100 г [4, 8]. В жимолости найдены биологически активные иридоидные гликозиды [9]. Сумма сахаров в ягодах — 1,6 – 8,0% в расчете на сырое вещество, в том числе глюкозы — 54% от суммы сахаров, фруктозы — 24%, сорбита — 15%, инозита — 4% [10, 11].

Все исследователи отмечают, что жимолость является ценным источником биофлавоноидов — до 1800 мг/100 г [4, 6, 8, 12 – 14]. Эти вещества представлены флаванами (катехинами, проантоцианидинами) [4, 7, 8], оксикоричными кислотами и флавонолами [7, 13]. Интенсивную темно-синюю окраску ягод обуславливают антоцианы (до 1200 мг/100 г) [2, 13, 15]. Выявлено 6 антоциановых гликозидов, среди которых основной — цианидин-3-гликозид [13, 15]. Большинство фенольных соединений обладают сосудотверждающим действием или Р-витаминной активностью. Флаваны, а также фенолкарбоновые кислоты обладают противовоспалительным, ранозаживляющим действием. Для многих флавонолов, флавонов, фенолкарбоновых кислот показана желчегонная и гепатозащитная активность. Некоторые флавоны и флавонолы оказывают стимулирующее воздействие на работу сердца, нормализуют обмен веществ, снижают уровень гистамина в крови [16 – 18]. Показано, что ягоды жимолости обладают высокой антиоксидантной активностью, которая находится в прямой зависимости от содержания фенольных соединений [14]. Экстракты жимолости с вы-

соким содержанием фенольных соединений в опытах на мышцах увеличивали выработку простагландина, играя роль иммуномодуляторов [19].

Ранее мы подробно изучили комплекс фенольных соединений 7 дикорастущих видов и подвидов жимолости, в том числе и тех, на базе которых были созданы сорта [7, 12]. Были выделены и идентифицированы от 3 до 5 оксикоричных кислот, среди которых основными веществами являлись кофейная, хлорогеновая и изохлорогеновая кислоты, а минорными — производные кофейной и пара-кумаровой кислот. Флавонолы были представлены 3-О-гликозидами кверцетина — изокверцитином, рутином, кверцитрином, флавоны — 7-О-рутинозидом и 7-О-глюкозидом лютеолина. У некоторых видов обнаружен флавоноид диосмин. Сходные результаты получены методом НРРС [13]. Этим методом в плодах жимолости идентифицированы оксикоричные кислоты (30 – 156 мг/100 г) — хлорогеновая и неохлорогеновая и производные пара-кумаровой кислоты, флавонолы (12 – 32 мг/100 г) — рутин и изокверцитрин.

Известно, что многие лекарственные растения при введении в культуру теряют свои лечебные свойства. Селекция только на вкусовые и товарные качества плодов может привести к тому, что сорта все более будут отличаться от своих дикорастущих предков по составу биологически активных соединений, утрачивая многие лечебно-профилактические свойства. В задачу работы входило определение состава биофлавоноидов сортов жимолости для выявления тенденций изменения этого показателя в результате селекции, чтобы ответить на вопрос о принципиальной возможности создания сортов, сочетающих высокие концентрации биофлавоноидов, свойственные их дикорастущим предкам, и хозяйственно ценные характеристики.

Методы исследования

Объектом исследования служили плоды ж. синей в стадии потребительской зрелости. Был изучен 51 сорт из коллекции Павловской опытной станции ВИР. Сорта изучали в течение 1993 – 2005 гг. Все изученные сорта жимолости включены в Государственный реестр селекционных достижений РФ. Большинство сортов (31) выведены на Павловской и Дальневосточной опытных станциях ВИР. Кроме того, изучены сорта селекции НИИ садоводства Сибири им. М. А. Лисавенко, Южно-Уральского научно-исследовательского института плододоводства и картофелеводства, Главного ботанического сада РАН им. Н. В. Цицина и некоторые другие.

Состав фенольных соединений определяли в спиртовых экстрактах. Флаваны (катехины и проантоцианидины) определяли у всех сортов методом быстрого фракционирования на колонках полиамида [20]. Содержание флавонов, флавонолов и оксикоричных кислот определяли хроматографическим (двумерная бумажная хроматография) и спектрофотометрическим методами [20], используя при этом данные по их идентификации, полученные нами ранее [12]. Качественный состав флавонов и флавонолов определяли у 28 сортов.

У остальных сортов определяли лишь суммарное содержание флавонов и флавонолов. Следует отметить, что 7-О-гликозид лютеолина и 7-О-рутинозид лютеолина делились не очень четко и поэтому их определяли в сумме. По этой же причине определяли также сумму хлорогеновой и изохлорогеновой кислот. Антоцианы определяли у 22 сортов спектрофотометрическим методом [20].

Результаты и обсуждение

У всех изученных сортов обнаружены свободные и конденсированные катехины, проантоцианидины, кофейная и хлорогеновые кислоты, флавоны и флавонолы. Основными биофлавоноидами сортов жимолости были флаваны (табл. 1). На их долю приходилось более половины суммарного содержания фенольных соединений. У всех сортов в плодах присутствовали кофей-

Таблица 1. Содержание основных классов биологически активных фенольных соединений в плодах изученных сортов жимолости

Класс биофлавоноидов	Изученные вещества	Содержание, мг/100 на сырой вес	
		минимальное	максимальное
Флаваны	Мономерные (свободные) катехины	39,7	631
	Проантоцианидины	130	816
	Полимерные (конденсированные) катехины	45,5	517
	Всего	319	1405
Оксикоричные кислоты	Кофейная	9,1	49,3
	Хлорогеновая	44,3	174
	Всего*	58,8	217
Флавоны и флавонолы	Изокверцетин	2,4	18,7
	Рутин	0	20,6
	О-Гликозиды лютеолина	1,5	20,7
	Всего*	11,0	58,9
Антоцианы		268	1090
Сумма биофлавоноидов на сырой вес		782	1890
Сумма биофлавоноидов на сухой вес, %		5,29	13,2

* С учетом минорных компонентов.

ная и хлорогеновые кислоты. У некоторых сортов обнаружены минорные компоненты этих веществ в количестве не более 1 мг/100 г.

У всех 28 сортов обнаружили О-гликозиды лютеолина и изокверцетин, у 26 сортов — рутин. Кверцетин присутствовал в качестве минорного компонента лишь у 5 сортов, флаван диосмин — у 2. У всех сортов, у которых определяли антоцианы, эти вещества обнаружены в значительных количествах (табл. 1).

Анализ полученных данных показал, что по содержанию биофлавоноидов изученные сорта существенно различались между собой. Наибольшие различия отмечены по накоплению свободных катехинов, проантоцианидинов и хлорогеновой кислоты (табл. 1).

Для того чтобы выяснить влияние исходных подвидов на состав биофлавоноидов, мы сопоставили данные по сортам, являющимися сеянцами от свободного опыления трех подвидов — ж. камчатской, ж. Турчанинова и ж. алтайской, а также сортам-гибридам между этими подвидами (табл. 2, 3).

По содержанию флаванов выделились сорта, произошедшие от ж. алтайской (табл. 2). В них было в 2 – 3 раза выше содержание свободных катехинов. Особенно высоким содержание этих веществ оказалось у форм, являющихся сеянцами F1. У сортов в поколении F2, а также сортов-гибридов с участием ж. алтайской содержание свободных катехинов и проантоцианидинов было более низким. Кроме сортов, являющихся простыми гибридами, нами изучены 3 сорта (Фортуна, Синичка и Московская-23) селекции Главного ботанического сада РАН им. Н. В. Цицина, которые являлись многоступенчатыми гибридами нескольких географических форм ж. синей [2]. У этих сортов содержание флаванов было очень низким.

По содержанию оксикоричных кислот различия между сеянцами трех подвидов не обнаружены (табл. 3). У сортов, являющихся гибридами, отмечено несколько меньшее содержание хлорогеновой кислоты, флавонов и флавонолов. Ни один гибрид не содержал хлорогеновую кислоту в количестве выше 73 мг/100 г и сумму флавонов и флавонолов выше 35 мг/100 г (табл. 3).

Таблица 2. Содержание флаванов у плодов сортов ж. синей (*Lonicera caerulea* L.) (в мг/100 г сырого веса)

Подвиды ж. синей и их гибриды	Количество изученных сортов	Свободные катехины	Проантоцианидины	Конденсированные катехины	Сумма флаванов
Ж. Турчанинова	11	41,2 – 227* 120**	312 – 718 476	61,1 – 443 208	423 – 1338 865
Ж. камчатская	19	39,7 – 251 131	130 – 816 453	94,4 – 346 167	340 – 1405 752
Ж. алтайская	4	206 – 631 367	441 – 793 590	45,5 – 517 223	1171 – 1516 1232
Ж. камчатская × ж. Турчанинова	3	125 – 145 134	314 – 382 337	144 – 169 153	592 – 651 624
Ж. Турчанинова × ж. камчатская	6	98 – 151 125	179 – 401 316	96 – 149 127	319 – 654 529
Ж. алтайская × ж. камчатская или ж. Турчанинова	5	79,2 – 205 148	129 – 666 309	169 – 472 182	410 – 913 639
Сложные гибриды	3	74,9 – 80,2 77,4	139 – 322 248	158 – 196 179	402 – 557 504

Здесь и в табл. 3 – б: * — диапазон варьирования и ** — среднее значение признака.

Таблица 3. Содержание оксикоричных кислот, флавонов и флавонолов у плодов жимолости (в мг/100 г сырого веса)

Подвиды ж. синей и их гибриды	Количество изученных сортов	Кислота		Сумма	
		кофейная	хлорогеновая	оксикоричных кислот***	флавонов и флавонолов***
Ж. Турчанинова	11	17,2 – 31,8* 21,8**	51,8 – 119 82,5	70,5 – 126 104	23,4 – 58,9 37,1
Ж. камчатская	19	9,1 – 42,6 22,2	48,0 – 146 82,6	58,8 – 217 105	16,7 – 49,5 38,6
Ж. алтайская	4	13,7 – 26,4 20,1	44,3 – 120 75,2	60,0 – 148 95,3	21,1 – 51,4 32,6
Ж. камчатская × ж. Турчанинова	3	19,1 – 30,4 23,7	47,4 – 72,4 60,8	66,8 – 103 85,2	23,6 – 29,7 27,0
Ж. Турчанинова × ж. камчатская	8	19,8 – 39,2 27,8	36,3 – 66,5 55,0	76,1 – 106 83,9	18,3 – 35,3 26,8
Ж. алтайская × ж. камчатская или ж. Турчанинова	5	18,3 – 49,3 29,4	50,5 – 77,2 65,1	70,7 – 105 94,6	11,0 – 26,5 17,3
Сложные гибриды	3	15,9 – 24,9 21,4	63,1 – 74,4 66,9	86,6 – 90,3 88,4	23,8 – 34,8 29,3

*** С учетом минорных компонентов.

Таблица 4. Состав флавонолов и флавонов в плодах сортов разных подвидов жимолости (в мг/100 г)

Подвиды ж. синей	Количество изученных сортов	Изокверцетин	Рутин	О-Гликозиды лютеолина	Минорные компоненты
Ж. Турчанинова	9	2,9 – 12,9* 8,1**	15,1 – 31,7 20,3	1,5 – 20,7 8,4	0,0 – 1,2 0,3
Ж. камчатская	11	2,4 – 16,7 11,3	4,1 – 20,6 14,6	3,8 – 14,9 11,5	0,0 – 2,0 1,2
Ж. алтайская	4	7,3 – 18,7 10,3	0 – 18,2 7,4	9,3 – 10,8 9,9	0,0 – 5,2 3,7

По суммарному накоплению флавонов и флавонолов сорта, принадлежащие к разным подвидам, не различались между собой (табл. 3). В то же время по качественному составу этих веществ у подвидов обнаружены некоторые особенности. У сортов, относящихся к ж. алтайской, обнаружена невысокая доля рутина. В сортах из поколения F₁ рутин вообще обнаружен не был. У сортов ж. камчатской отмечено несколько более высокое содержание изокверцетина (табл. 4).

Уже на начальных этапах селекции жимолости исключали формы с горькими и мелкими плодами. Дальнейший отбор сеянцев также шел по признакам дегустационной оценки плодов и их массы. Биохимическая природа горечи плодов жимолости до конца не выяснена. Предполагают, что она может быть обусловлена эфирами масляной кислоты [21] или наличием иридоидных гликозидов [9]. Некоторые фенольные соединения также могут придавать горький вкус [22].

Анализ корреляционных зависимостей между дегустационной оценкой плодов и содержанием отдельных компонентов комплекса биофлавоноидов показал, что в группе сортов ж. алтайской и гибридов с участием этого подвида выявлены достоверные отрицательные корреляционные связи между дегустационной оценкой плодов в баллах и содержанием свободных катехинов (–0,79), суммой флаванов (–0,51), суммой оксикоричных кислот (–0,64). В группе этих сортов вкус плодов определяется в основном наличием горечи. В подвиде

ж. Турчанинова также есть сорта с горьким привкусом, который отрицательно сказывается на дегустационной оценке плодов, однако их не так много, как у ж. алтайской. У сортов ж. Турчанинова и гибридов, в которых этот подвид участвовал как материнское растение, также выявлены некоторые отрицательные корреляционные связи между дегустационной оценкой плодов и группами биофлавоноидов — проантоцианидинами (–0,57) и кофейной кислотой (–0,46). У ж. камчатской горечь отсутствует, и вкус плодов определяется содержанием органических кислот. У сортов, принадлежащих к этому подвиду, достоверные корреляционные связи между вкусом плодов и содержанием биофлавоноидов не выявлены.

Можно предположить, что некоторые фенольные соединения могут вносить определенный вклад в процесс образования горечи плодов. Однако делать какие-либо окончательные выводы только на основании выявленных нами взаимосвязей не совсем корректно. Биофлавоноиды могут иметь общих предшественников с веществами, действительно ответственными за формирование горечи. Таким образом, выявленные корреляционные зависимости могут означать не прямую, а косвенную связь между признаком и составом фенольных соединений. В то же время выявленные закономерности показывают, что при селекции на вкусовые качества плодов жимолости возможно существенное снижение содержания многих компонентов фенольных соединений, в частности у ж. алтайской и ж. Турчанинова. Однако были обнаружены сорта не только ж. камчатской, но и ж. Турчанинова, которые имели десертный вкус плодов с дегустационной оценкой не менее 4,2 баллов и высокое содержание биофлавоноидов: сорта Волхова, Нимфа, Амфора, Память Гидзюка, Томичка и др.

Выявлены отрицательные связи между средней массой плодов и составом некоторых фенольных соединений. У сортов ж. алтайской: с содержанием проантоцианидинов (–0,59), суммой флаванов (–0,66), хлорогеновой кислотой (–0,57), суммой оксикоричных кис-

лот (-0,74), суммой флавонов и флавонолов (-0,49). В группе ж. Турчанинова — с проантоцианидинами (-0,38) и хлорогеновой кислотой (-0,56), суммой оксикоричных кислот (-0,58). У сортов ж. камчатской лишь для мелких плодов выявлены высокие отрицательные корреляционные зависимости между средней массой плодов и содержанием некоторых биофлавоноидов: при увеличении массы плодов от 0,5 до 0,75 г — со свободными катехинами (-0,55), проантоцианидинами (-0,66), суммой флаванов (-0,71), кофейной кислотой (-0,70), хлорогеновой кислотой (-0,73), суммой оксикоричных кислот (-0,72), суммой флавонов и флавонолов (-0,46). Увеличение массы плодов свыше 0,75 г не сказывалось отрицательно на содержании биофлавоноидов. Несмотря на выявленные отрицательные связи, у сортов ж. Турчанинова и ж. камчатской выделены крупноплодные сорта с массой не менее 1,0 г и высоким содержанием биофлавоноидов: сорта Пушкинская, Роксана, Нимфа, Амфора и др.

Недостатками первых сортов жимолости была их низкая урожайность и высокая осыпаемость плодов. Поэтому задачей селекции жимолости было устранение этих существенных недостатков. Немаловажной задачей селекции было также создание лежких сортов, сохраняющих длительное время товарный вид плодов. Анализ наших данных показал, что селекция на эти ценные признаки также может привести к снижению содержания отдельных компонентов комплекса фенольных соединений.

Выявлены отрицательные корреляционные зависимости между уровнем продуктивности сортов жимолости и содержанием в плодах некоторых групп биофлавоноидов. Особенно высокими они были в группе ж. алтайской. Корреляция между продуктивностью и содержанием проантоцианидинов у этих сортов составила -0,75, хлорогеновой кислотой — -0,87, суммой оксикоричных кислот — -0,90. В группе сортов ж. Турчанинова эти зависимости были ниже: между продуктивностью и проантоцианидинами — -0,47, суммой флаванов — -0,49. У сортов ж. камчатской существенных связей между урожайностью сортов и составом биофлавоноидов не выявлено. Можно отметить лишь небольшую отрицательную зависимость между средней продуктивностью сортов ж. камчатской и содержанием хлорогеновой кислоты — -0,36.

Несмотря на выявленные отрицательные зависимости, все же были выделены сорта ж. Турчанинова и ж. камчатской (Мальвина, Богдана, Соловей, Пушкинская, Волхова), которые имели продуктивность свыше 2,5 кг с куста и в то же время достаточно высокое содержание биофлавоноидов. В группе ж. алтайской сортов, сочетающих высокую урожайность и высокое содержание биофлавоноидов, не найдено.

Существенных корреляционных зависимостей между осыпаемостью и содержанием биофлавоноидов у сортов жимолости не выявлено. Не выявлено достоверных различий и между группами сортов, различающихся по степени лежкоспособности.

Очень важным направлением селекции жимолости было создание зимостойких сортов. В настоящее время практически все сорта ж. алтайской и ж. камчатской отличаются высокой зимостойкостью в условиях северо-запада РФ. Лишь некоторые сорта ж. Турчанинова имеют низкую и среднюю зимостойкость. Мы сравнили содержание биофлавоноидов у этих сортов (табл. 5).

Определенные различия между сортами, входящими в группу с высокой и группу с низкой и средней зимостойкостью, отмечены по накоплению конденсированных катехинов, суммы флаванов, хлорогеновой кислоты, суммы флавонов и флавонолов. Эти группы имели перекрывающиеся интервалы изменчивости по этим признакам. Различия между ними оказались, тем не менее, статистически недостоверными. Выделены сорта ж. Турчанинова с высокой зимостойкостью и высоким содержанием биофлавоноидов: Альтаир, Мальвина и Сувенир.

Жимолость — молодая культура. Первые ее сорта были сеянцами от свободного опыления поколения F1. В настоящее время большинство этих сортов устарели и их заменили сорта, являющиеся сеянцами поколений F2. У ж. камчатской, которая первой из подвидов была вовлечена в селекционный процесс, есть сорта, являющиеся гибридами поколений F3, F4. Мы сравнили состав биофлавоноидов в группе сортов ж. камчатской, принадлежащих к разным поколениям, т. е. отличающихся между собой длительностью селекционного процесса. Это сопоставление, возможно, выявит закономерности изменчивости состава этих веществ в зависимости от их удаленности от дикорастущих видов-предков. Анализ наших данных показал, что наибольшие различия между этими сортами можно было заметить по содержанию оксикоричных кислот, флавонов и флавонолов (табл. 6). Как видно из таблицы, в ходе селекционного процесса происходит последовательное снижение содержания хлорогеновой кислоты. При этом содержание кофейной кислоты не меняется или

Таблица 5. Содержание биофлавоноидов у сортов ж. Турчанинова и гибридов

Вещество, мг/100 г	Зимостойкость	
	низкая и средняя (n = 8)***	высокая (n = 11)***
Свободные катехины	41,2 – 271* 146**	91 – 161 125
Проантоцианидины	312 – 712 494	179 – 597 358
Конденсированные катехины	70,5 – 442 252	61,1 – 227 140
Сумма флаванов	424 – 1339 892	319 – 785 591
Кофейная кислота	17,6 – 31,8 22,3	17,2 – 39,2 26,2
Хлорогеновая кислота	51,8 – 118 84	36,3 – 89,8 59,3
Сумма оксикоричных кислот	70,5 – 126 107	65 – 113 86,4
Флавоны и флавонолы	23,4 – 50,1 38,7	18,3 – 39,6 28,7

*** Количество изученных сортов.

Таблица 6. Содержание оксикоричных кислот в плодах сортов ж. камчатской, являющихся сеянцами от свободного опыления разных поколений

Поколение сортов	Количество изученных сортов	Оксикоричные кислоты, мг/100 г			Флавоны и флавонолы, мг/100 г
		кофейная	хлорогеновая	сумма	
F1	2	9,1–21,5* 17,8**	94,3–147 120	103–168 138	39,4–44,0 41,7
F2	11	11,1–42,6 24,9	56,5–174 86,9	71,8–217 112	19,3–49,2 36,5
F3 и F4	6	10,8–29,2 20,8	48,0–71,8 59,7	58,8–93,3 80,5	16,7–36,4 24,5

даже растет. Доля хлорогеновой кислоты последовательно снижается с 86,9% (поколение F1) до 77,6% (поколение F2) и далее до 74,1% (поколения F3 и F4). У сортов, являющихся гибридами, многие из которых принадлежат поколениям F3, F4 и F5, эта доля составила 67,1% (табл. 3).

В группе сортов ж. камчатской выявлено наименьшее количество отрицательных связей с хозяйственно ценными признаками. Поэтому можно предположить, что обнаруженные нами закономерности изменения соотношения фенольных соединений при селекционном отборе в этом подвиде могут проявиться и в ходе скрининга других подвидов жимолости. Следует отметить, что все биологически активные фенольные соединения действуют в определенном диапазоне концентраций. Направленность их медикаментозного влияния может изменяться при различных соотношениях этих веществ из-за целого ряда сложных синергических и антагонистических взаимодействий [16, 18, 22]. Как отмечалось выше, у сортов ж. алтайской мы наблюдали снижение содержания свободных катехинов и проантоцианидинов в поколениях F2 и гибридах, т. е. практически утрату специфических особенностей состава фенольных соединений этого подвида. У сортов, являющихся сложными гибридами нескольких форм жимолости, содержание всех групп биофлавоноидов, в том числе и флаванов, было низким (табл. 2, 3).

Заключение

Последовательный отбор сеянцев жимолости по целому ряду хозяйственно ценных признаков может привести как к снижению суммы биофлавоноидов, так и к изменению их соотношения, что не может не отразиться отрицательно на ее лечебно-профилактических свойствах. В то же время несмотря на выявленные корреляционные зависимости, выделены сорта, сочетающие хорошие показатели по хозяйственно-ценным признакам и высокие концентрации биофлавоноидов. Следовательно, при наличии контроля за химическим составом плодов возможно создание сортов, сочетающих основные хозяйственные признаки с ценными лечебно-профилактическими свойствами дикорастущих форм.

Стрельцина С. А., канд. биол. наук; Сорокин А. А., канд. с.-х. наук;
Плеханова М. Н., докт. биол. наук, профессор
Всероссийский НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова
Лобанова Е. В., ВНИИ селекции плодовых культур, Орел

ЛИТЕРАТУРА

1. Пояркова А. И. Жимолость — *Lonicera L.* // *Флора СССР*. — М. — Л., 1958. — Т. 23. — С. 453–625.
2. Скворцов А. К., Виноградова Ю. К., Куклина А. Г. и др. Формирование устойчивых интродукционных популяций. — М.: Наука, 2005. — 187 с.
3. Плеханова М. Н. Жимолость (*Lonicera* subsect. *caeruleae*) систематика, биология, селекция: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. — СПб., 1994. — 39 с.
4. Петрова В. П. Дикорастущие плоды и ягоды. — М.: Лесная промышленность, 1987. — 248 с.
5. Растительные ресурсы СССР. Цветковые растения, их химический состав, использование: *Caprifoliaceae – Plantaginaceae*. — Л.: Наука, 1990. — 328 с.
6. Жидехина Т. В., Куминов Е. П. Интродукция и селекция в ЦЧЗ // *Тр. ВНИИ садоводства им. И. В. Мичурина*. — Мичуринск, 2005. — С. 415–437.
7. Plekhanova M., Streltsyna S. Fruit chemical composition of *Lonicera* subsect. *caerulea* (*Caprifoliaceae*) species // *Estonian Agr. Univ. Forest Res. Inst. (Forestry studies. XXX)*. — Tartu, 1998. — P. 143–147.
8. Евтухова О. М., Теплюк Н. Ю., Леонтьев В. М. и др. Содержание биологически активных соединений в плодах калины и жимолости, произрастающих в Красноярском крае // *Химия растит. сырья*. — 2000. — № 1. — С. 77–79.
9. Аникина Е. В., Сыргина А. И., Верещагин А. Л. и др. Горький иридоидный гликозид из плодов *Lonicera caerulea* // *Химия природ. соед.* — 1988. — № 4. — С. 598–599.
10. Азин Л. А., Аникина Е. В., Линке О. Э. Углеводы и органические кислоты в плодах *Lonicera caerulea L.* и их полуфабрикатах // *Растит. ресурсы*. — 1987. — Вып. 3. — С. 449–454.
11. Аникина Е. В. Пищевая ценность жимолости голубой и продуктов, выработанных с ее применением: Автор. дис. ... канд. техн. наук. — Л., 1989. — 24 с.
12. Стрельцина С. А., Плеханова М. Н., Ростова Н. С. фенольные соединения плодов р. *Lonicera* subsect. *caerulea L.* // *Растит. ресурсы*. — 1993. — Т. 29, Вып. 2. — С. 16–25.
13. Chaovanalikit A., Thompson M. M., Wrolstad R. E. Characterization and quantification of anthocyanins and polyphenolics in blue honeysuckle (*Lonicera caerulea L.*) // *J. Agric. Food Chem.* — 2004. — V. 52, Issue 4. — P. 848–852.
14. Thompson M. M., Chaovanalikit A. Preliminary observations on adaptation and nutraceutical values of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea*) in Oregon, USA // *Acta Hort. (ISHS)*. — 2003. — V. 626. — P. 65–72.
15. Гришаков А. Н., Жданова Е. А., Семкина Л. А. и др. Определение содержания 3-цианидингликозида в плодах жимолости методом ВЭЖХ // *Тез. конф. "Химия и технология растительных веществ"*. — Сыктывкар, 2000. — С. 312.
16. Барабой В. А. Биологическое действие растительных фенольных соединений. — Киев, 1986. — 260 с.
17. Ho C. T. Phenolic compounds in food and their effects in health: Antioxidants and cancer prevention // *Phenolic Compounds in Food*. — Washington, 1992. — P.2–34.
18. Tripathi V. D., Rostogi R. P. Flavonoids in biology medicine // *J. Sci. Indust. Res.* — 1981. — V. 40. — P. 116–124.
19. Jin X. H., Ohgami K., Shiratori K., et al. Effects of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea L.*) extract on lipopolysaccharide-induced inflammation in vitro and in vivo // *Exp. Eye Res.* — 2006. — V. 82, Issue 5. — P. 860–867.
20. Самородова-Бианки Г. Б., Стрельцина С. А. Исследование биологически активных веществ плодовых культур // *Метод. указания*. — Л., 1989. — 81 с.
21. Аникина Е. В., Верещагин А. Л., Сыргина А. И. Сложные эфиры лимонной кислоты // *Химия природ. соед.* — 1988. — № 4. — С. 599–600.
22. Запрометов М. Н. Фенольные соединения — М.: Наука, 1993. — 272 с.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

			№	Стр.				№	Стр.				№	Стр.
А														
<i>Алтиев А.</i>	5	42	<i>Кантемиров Р. Ф.</i>	5	10, 13	<i>Смирнова Е. Л.</i>	5	22, 40						
<i>Антонова Г. В.</i>	3	9	<i>Карашаев М. Ф.</i>	2	14	<i>Соловьева А. Е.</i>	6	52, 56, 60						
<i>Ардаширов С. С.</i>	2	28	<i>Карлосон А.</i>	6	26	<i>Сорокин А. А.</i>	6	67						
<i>Артемьева А. М.</i>	6	52, 56	<i>Козлова Л. В.</i>	5	35	<i>Стим С.</i>	6	26						
<i>Асланов Г. А.</i>	3	43	<i>Конарев А. В.</i>	6	2, 4, 23, 26, 41, 46	<i>Стрельцина С. А.</i>	6	41, 46, 63, 67						
	5	33	<i>Кочерина Н. В.</i>	3	27	<i>Сучкова Н. А.</i>	5	25						
			<i>Кресникова Н. И.</i>	1	2, 8, 21, 26, 29, 32, 38, 44	Т								
Б														
<i>Баранова М. В.</i>	5	44	<i>Кузнецов Е. А.</i>	2	2	<i>Таов И. Х.</i>	4	31						
<i>Бжекишев С. Л.</i>	2	14	<i>Курцева А. Ф.</i>	6	32	<i>Тарчоков Т. Т.</i>	4	29, 31, 32						
<i>Бороздин Э. К.</i>	2	29	Л			<i>Тлейнишева М. Г.</i>	4	29, 31, 32						
<i>Бурмистров Л. А.</i>	6	63	<i>Леонова С. В.</i>	6	26	<i>Трухачёв В. И.</i>	3	42						
<i>Быков В. Г.</i>	3	4	<i>Лобанова Е. В.</i>	6	67	Ф								
	5	2	<i>Лоскутов И. Г.</i>	6	26	<i>Фалина М. С.</i>	3	7						
<i>Быков Г. Е.</i>	3	4	М				5	17						
	5	2	<i>Медведева Н. А.</i>	3	23	<i>Фенченко Н. Г.</i>	2	28						
В			<i>Менликиев М. Я.</i>	2	33	<i>Филенко В. Ф.</i>	3	42						
<i>Вишневецкая О. Е.</i>	6	60	<i>Муродов Н. М.</i>	2	36	Х								
Г			<i>Мухачев А. Д.</i>	2	20	<i>Хацуков Б. Х.</i>	2	14						
<i>Гурницкий В. Н.</i>	3	42	Н			<i>Хашагульгова М. Ш.</i>	3	30, 32						
Д			<i>Низова Г. К.</i>	6	23, 37	<i>Хорева В. И.</i>	6	23, 32						
<i>Джамбулатов З. М.</i>	2	10	О			<i>Хусаинов В. Р.</i>	2	28						
<i>Дзюбенко Н. И.</i>	6	41, 46	<i>Осинов А. Н.</i>	3	4	Ш								
<i>Драгавцев В. А.</i>	3	27	П			<i>Шаварда А. Л.</i>	6	60						
<i>Дубовская А. Г.</i>	6	37	<i>Папцов А. Г.</i>	3	2, 14	<i>Шаяхметов И. Т.</i>	2	33						
Ж						<i>Шеламова Н. А.</i>	3	18						
<i>Жамбекова Р. Л.</i>	3	30, 32	<i>Плакса С. А.</i>	2	10	<i>Шеламова Н. А.</i>	5	28						
<i>Жукова М. А.</i>	6	41, 46	<i>Плеханова М. Н.</i>	6	67	<i>Шеленга Т. В.</i>	6	26						
З			Р			<i>Шитов В. Н.</i>	5	10						
<i>Забелина М. В.</i>	2	17	<i>Романова Ю. А.</i>	5	6	Ю								
<i>Зверева О. А.</i>	6	60	С			<i>Юдкевич Е. В.</i>	6	41, 46						
К			<i>Сахибгареев А. А.</i>	2	33	<i>Южаков А. А.</i>	2	20, 25						
<i>Кагермазов Ц. Б.</i>	4	2, 25, 29	<i>Середин В. А.</i>	4	2, 7, 18, 25	Я								
<i>Кадькоев Р. Т.</i>	4	2, 25				<i>Ярош Н. П.</i>	6	23						
<i>Каменецкая О. В.</i>	3	21												

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, опубликованных в 2005 году

СИСТЕМА ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

	<u>№</u>	<u>Стр.</u>
<i>Кресникова Н. И.</i> Системы землепользования в зарубежных странах	1	2
Регулирование землепользования в России на современном этапе.	1	8
Развитие законодательства об ипотеке (залоге) земель сельскохозяйственного назначения	1	21
Земельный рынок России: институциональные аспекты	1	26
Экономическая характеристика оборота земель в Российской Федерации	1	29
Аренда земли в аграрной сфере	1	32
Основные тенденции развития земельного оборота в России	1	38
Совершенствование системы регулирования оборота земель сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации	1	44

	<u>№</u>	<u>Стр.</u>
<i>Кузнецов Е. А.</i> Птичий грипп в России: оценка ситуации в 2005 г. и прогноз на весну 2006 г.	2	2
<i>Джамбулатов З. М., Плакса С. А.</i> Роль диких птиц в распространении “птичьего гриппа” в Дагестане	2	10
<i>Хаџуков Б. Х., Карашаев М. Ф., Бжекишиев С. Л.</i> Гипокситерапия как метод повышения резистентности организма	2	14
<i>Забелина М. В.</i> Воздействие экологических факторов на морфологические признаки кроветворных органов молодняка овец	2	17
<i>Южаков А. А., Мухачев А. Д.</i> Необходима новая концепция северного оленеводства (на примере Ямало-Ненецкого автономного округа)	2	20
<i>Южаков А. А.</i> О наследуемости и повторяемости признака живой массы у северных оленей.	2	25
<i>Хусаинов В. Р., Фенченко Н. Г., Ардаширов С. С.</i> Качество и минеральный состав молока свиноматок	2	28
<i>Бороздин Э. К.</i> Об основных ориентирах и приоритетах природопользования	2	29
<i>Менликиев М. Я., Шаяхметов И. Т., Сахибгареев А. А.</i> Биологизация защиты растений от вредных организмов в республике Башкортостан	2	33
<i>Муродов Н. М.</i> Равномерность хода плуга с вырезными кормусами по глубине	2	36

ЭКОНОМИКА

	<u>№</u>	<u>Стр.</u>
<i>Папцов А. Г.</i> Государственное регулирование природоохранной деятельности в сельском хозяйстве и обеспечение безопасности продовольствия в развитых странах.	3	2
<i>Быков Г. Е., Быков В. Г., Осипов А. Н.</i> Об экономических методах государственного регулирования производства зерна в Российской Федерации	3	4
<i>Фалина М. С.</i> Внешнеторговые отношения на продовольственном рынке России и государственное регулирование	3	7
<i>Антонова Г. В.</i> Проблемы государственного регулирования занятости населения и рынка труда в сельской местности России	3	9
<i>Папцов А. Г.</i> Организационно-экономические и экологические проблемы мирового свиноводства	3	14
<i>Шеламова Н. А.</i> Государственная поддержка сельского хозяйства Беларуси при вступлении страны в ВТО	3	18
<i>Каменеџкая О. В.</i> Сельское хозяйство Китая и меры его государственной поддержки	3	21
<i>Медведева Н. А.</i> Кредитные союзы в странах Северной Америки	3	23
<i>Драгавцев В. А., Кочерина Н. В.</i> Современные проблемы взаимодействия генетики и селекции растений	3	27

<i>Хашагульгова М. Ш., Жамбекова Р. Л.</i> Труд и предпринимательская способность	3	30
<i>Хашагульгова М. Ш., Жамбекова Р. Л.</i> Основные направления совершенствования государственного регулирования рынка труда Республики Ингушетии	3	32
<i>Кресникова Н. И.</i> Особенности землепользования в Албании и Болгарии.	3	35
<i>Гурницкий В. Н., Трухачёв В. И., Филенко В. Ф.</i> Оптимальная температура окружающего воздуха для взрослых коз	3	42
<i>Асланов Г. А.</i> Влияние удобрений совместного применения с природным цеолитом на урожайность и качество озимой пшеницы в условиях богарного земледелия в Азербайджане	3	43

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВА СКОТА НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ

	№	Стр.
<i>Середин В. А., Кадыкоев Р. Т., Кагермазов Ц. Б.</i> Инструмент селекции в новом тысячелетии	4	2
<i>Середин В. А.</i> Цикл воспроизводства в скотоводстве и концепция уровней регуляции репродуктивной функции	4	7
<i>Середин В. А.</i> Половой цикл и нейрогуморальная регуляция репродуктивной функции	4	18
<i>Середин В. А., Кагермазов Ц. Б., Кадыкоев Р. Т.</i> Система регулирования и значение кальция и фосфора в нарушениях обмена веществ у животных	4	25
<i>Кагермазов Ц. Б., Тлейнишева М. Г., Тарчоков Т. Т.</i> Зависимость удоя живой массы голштинизированных коров от типов конституции	4	29
<i>Таов И. Х., Тлейнишева М. Г., Тарчоков Т. Т.</i> Аминокислотный состав молока коров-первотелок разного генотипа	4	31
<i>Тлейнишева М. Г., Тарчоков Т. Т.</i> Некоторые показатели резистентности голштинизированных коров в условиях отгонно-горного содержания КБР	4	32

КООПЕРАЦИЯ И ГОСУДАРСТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ АГРАРНОГО СЕКТОРА

	№	Стр.
<i>Быков Г. Е., Быков В. Г.</i> Роль и место сельскохозяйственных сбытовых кооперативов	5	2
<i>Романова Ю. А.</i> Государственное регулирование в кооперативных формированиях аграрного сектора	5	6
<i>Шитов В. Н., Кантемиров Р. Ф.</i> Проблемы реформирования системы государственного регулирования АПК России	5	10
<i>Кантемиров Р. Ф.</i> Рынок экологически чистой продукции на современном этапе и место России в данном процессе	5	13
<i>Фалина М. С.</i> Проблемы продовольственного обеспечения и развития продовольственного рынка.	5	17
<i>Папцов А. Г.</i> Новые тенденции в формировании аграрной политики Канады.	5	19
<i>Смирнова Е. Л.</i> Аренда земли в странах Центральной и Восточной Европы	5	22
<i>Сучкова Н. А.</i> Государственное регулирование экспортно-импортного баланса в агрофере стран ближнего зарубежья.	5	25
<i>Шеламова Н. А.</i> Мировой рынок продовольствия и сельскохозяйственная биотехнология	5	28
<i>Асланов Г. А.</i> Применение природного цеолита в богарных и орошаемых условиях западной зоны Азербайджана	5	33
<i>Козлова Л. В.</i> Современное состояние рынка мяса птицы в России и основные резервы повышения конкурентоспособности его производства.	5	35
<i>Папцов А. Г., Смирнова Е. Л.</i> Совершенствование инфраструктуры сельскохозяйственного производства Республики Кореи	5	40
<i>Алтиев А.</i> Плата за землю в Узбекистане: экономическая природа и методология	5	42
<i>Баранова М. В.</i> Общая аграрная политика ЕС.	5	44

БИОХИМИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

	№	Стр.
<i>Конарев А. В.</i> Развитие биохимических и молекулярно-биологических исследований мирового генофонда растений в ВИР им. Н. И. Вавилова	6	2
<i>Конарев А. В.</i> Использование молекулярных маркеров в решении проблем генетических ресурсов растений и селекции	6	4
<i>Ярош Н. П., Конарев А. В., Низова Г. К., Хорева В. И.</i> Вклад А. И. Ермакова в изучение генофонда культурных растений (к 100-летию со дня рождения)	6	23
<i>Шеленга Т. В., Леонова С. В., Конарев А. В., Лоскутов И. Г., Карлосон А., Стим С.</i> Характеристика дикорастущих видов овса из коллекции ВИР по содержанию, фракционному и жирнокислотному составу масла.	6	26
<i>Хорева В. И., Курцева А. Ф.</i> Биохимическая характеристика сортов проса в связи с проблемой качества зерна	6	32
<i>Низова Г. К., Дубовская А. Г.</i> Биохимическое изучение ярового и озимого рапса из коллекции ВИР им. Н. И. Вавилова	6	37
<i>Стрельцина С. А., Юдкевич Е. В., Жукова М. А., Конарев А. В., Дзюбенко Н. И.</i> Анализ внутрипопуляционной изменчивости люцерны посевной (<i>Medicago sativa</i> L.) по биохимическим признакам качества	6	41
<i>Стрельцина С. А., Юдкевич Е. В., Жукова М. А., Конарев А. В., Дзюбенко Н. И.</i> Биохимическая характеристика козлятника восточного (<i>Galega orientalis</i> Lam.)	6	46
<i>Соловьева А. Е., Артемьева А. М.</i> Биологически активные вещества капустных растений рода <i>Brassica</i> L.	6	52
<i>Соловьева А. Е., Артемьева А. М.</i> Качественная оценка некоторых культурных типов восточно-азиатского вида <i>Brassica rapa</i> L.	6	56
<i>Вишневская О. Е., Шаварда А. Л., Соловьева А. Е., Зверева О. А.</i> Исследование компонентного состава эфирного масла растений рода <i>Monarda</i> (<i>Lamiaceae</i>), культивируемых в условиях северо-западного региона	6	60
<i>Стрельцина С. А., Бурмистров Л. А.</i> Биохимический состав ирги ольхолистной (<i>Amerlanchier alnifolia</i> Nutt.) в условиях северо-запада Российской Федерации	6	63
<i>Стрельцина С. А., Сорокин А. А., Плеханова М. Н., Лобанова Е. В.</i> Состав биологически активных фенольных соединений сортов жимолости в условиях северо-западной зоны плодоводства РФ	6	67

Учредители:

1. Московское отделение общественной организации “Российская академия естественных наук по научным проблемам агропромышленного комплекса”.

2. ООО “Фолиум”

Свидетельство о регистрации средств массовой информации номер А-1878 от 31 января 2000 г.

Формат 60 × 84 1/8

Подписано в печать 15.12.06

Бумага офсетная

Цена — свободная

Индекс № 79751 (“Роспечать”) и № 83106 (Объединенный каталог)