

УДК 634.1:581.5

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К СЕЛЕКЦИИ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ СТЕПЕНИ ИХ АДАПТИВНОСТИ К СТРЕССОВЫМ ФАКТОРАМ СРЕДЫ

Ирина Александровна Драгавцева¹, Виктор Александрович Драгавцев²,
Зулайха Пашаевна Ахматова³, Анна Васильевна Клюкина¹

¹ ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства,
виноградарства и виноделия»,

350072, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. 40-летия Победы, 39

² ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт,
195220, г. Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14

³ ФГБНУ «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и
предгорного садоводства»,

360004, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, ул. Шарданова, 23

E-mail: I_d@list.ru

Исследования последних лет показали, что уровни продуктивности сельскохозяйственных растений определяются в основном эффектами их взаимодействия со средой. Поэтому в задачу селекции многолетних плодовых культур входит создание новых сортов с упреждением негативного воздействия его глобального изменения на плодоношение. Проведена работа по выявлению для селекционного процесса источников и доноров систем адаптивности сортов плодовых культур (на примере абрикоса) к низким температурам зимне-весеннего периода по конкретным фазам развития с учетом флуктуации климата. Изучена их реакция на проявления температурных стрессов за длительный период лет (1985-2024 гг.) в различных зонах Республики Кабардино-Балкария. Разработаны графические модели взаимодействия «генотип-среда», позволившие выявить у конкретных сортов фазы развития, обладающие повышенной устойчивостью к низкотемпературным стрессам. Выявлены резервы повышения продуктивности сортов по конкретным фазам развития. В результате предложен новый подход к повышению результативности селекционного процесса с учетом глобального изменения климата (фазовая селекция).

Ключевые слова: абрикос; груша; сорта; климат; селекция; морозостойкость; фазы развития; адаптивность

Введение

История развития селекции плодовых культур уходит в глубокую древность. В XVII столетии впервые в Италии и Франции стали применять их искусственную гибридизацию [1, 2]. В XX веке в Европе начинается развитие генетики и цитологии. Селекционеры ставят целью получить более зимостойкие, морозостойкие и урожайные сорта плодовых культур, так как уровни продуктивности растений определяются в основном их взаимодействием с условиями среды выращивания [3, 4]. Но эти показатели являлись общими и потому в селекции были и остаются до сих пор не очень результативными [5-7].

В 1984 г. появляется следующая гипотеза о взаимодействии «генотип-среда (ВГС) – «механизм эффектов ВГС – это смена набора и числа продуктов генов, находящихся в клетках сортов растений и детерминирующих один и тот же признак продуктивности при смене лим-факторов внешней среды» [8].

Академик А.А. Жученко в 2010 г. показал, что генов засухоустойчивости, урожайности, морозостойкости и других не существует, и в основе селекции должны лежать онтогенетическая и филогенетическая адаптация сортов к условиям выращивания [9].

Это положение особенно значимо для плодовых культур и сортов, поскольку они испытывают негативные последствия периодически повторяющегося циклического изменения климата на их плодоношение в течение многих лет. Плодовые обладают сложными генетически обусловленными системами взаимодействия «генотип-среда», связанными друг с другом прямыми и обратными связями [10, 11]. При любых внешних многовариантных воздействиях меняется иерархия переменных этой системы, своя в каждой фазе развития; возникают защитно-приспособительные реакции, характерные для каждого этапа онтогенеза; раскрываются наследственные особенности степени адаптивности этих этапов к лимитам среды выращивания.

Для признака, подверженного взаимодействию «генотип-среда» невозможно дать стабильную «паспортную» характеристику всех сред. В каждой фазе онтогенеза на увеличение урожая действует строго определенный спектр генов, определяемый их дифференцированной активностью (по законам онтогенеза) и лим-фактором внешней среды. Этот лим-фактор тормозит биологические процессы на данной фазе и «заставляет» работать на преодоление тормозящего эффекта среды строго определенный спектр генов. На каждой фазе онтогенеза он свой. Из-за сдвига его работы во времени и пространстве он не может взаимодействовать с другими спектрами генов, то есть они будут аддитивны друг другу [12].

Для обеспечения высокой продуктивности плодовых культур необходимы новые сорта со спектрами генов, обеспечивающими преодоление «ударов» конкретных лим-факторов среды на каждой фазе онтогенеза.

Следовательно, современный путь селекции плодовых культур основан на новой системе изучения степени адаптивности сортов по каждой фазе развития.

В 1984 г. научной школой академика В.А. Драгавцева создана теория эколого-генетической организации количественных признаков (ТЭГОКП) на примере однолетних культур. В процессе ее развития были раскрыты и экспериментально выявлены 7 генетико-физиологических систем (ГФС), которые управляют урожаями растений [8].

Согласно этой теории при конструировании новых сортов отслеживаются все этапы онтогенеза, определяется уровень искомым ГФС и вводится в каждую фазу лучшую ГФС других сортов.

Параллельно определяются «узкие» места сортов по заданному признаку для дальнейшей селекции.

Данные подходы были применены к многолетним плодовым культурам, в первую очередь по ГФС адаптивности, аттракции микрораспределений, генетической вариабельности длин фаз.

Они перекликаются с планом научных исследований Российской Федерации на 2021-2023 гг. [13], где приоритетом считаются следующие направления:

- индивидуальное развитие, устойчивость и пластичность онтогенезов растений;
- получение новых знаний по адаптационным механизмам систем регуляции и восстановительному потенциалу растений.

Последовательность проводимых исследований:

1. Выбор более значимых для получения урожаев системообразующих факторов среды (в данном случае низких температур зимне-весеннего периода).
2. Определение (в количественных показателях) уровней стресс-факторов среды, отрицательно влияющих на продуктивность сортов в конкретные фазы развития.
3. Расчёт вероятности их наступления, начала, длительности и силы воздействия во временном ряду (15-20 лет) и в пространстве (3-5 точек).
4. Выбор сортов с разной степенью устойчивости к лимитам среды по каждой фазе развития в разных нишах выращивания.

5. Анализ сдвига наступления стресс-факторов среды для конкретных сортов по каждой фазе развития в различные временные периоды на разных территориях.

6. Идентификация генотипов с максимально эффективными генетико-физиологическими системами в разных экологических нишах с целью выявления у сортов селекционно-значимых признаков для дальнейшей селекции.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись сорта абрикоса: Краснощекий (районированный, средней морозостойкости) и Ахмат-Шаптал (новый сорт селекции З.П. Ахматовой, повышенной морозостойкости).

Использованы температурные показатели за длительный период лет с 1985 по 2024 гг. (1 период 1985-2000 гг. до изменения климата и 2 период 2001-2024 гг. в его процессе) по двум зонам садоводства Республики Кабардино-Балкарии (Степная – метеостанция Прохладное, Предгорная – метеостанция Нальчик).

В работе были использованы следующие методики:

- Теория эколого-генетической организации количественных признаков (В.А. Драгавцев, П.П. Литун, Н.М. Шкель и др., 1984) [8].

- Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур (1999) [14].

- Новые методы радикального повышения урожаев сортов плодовых культур на основе теории эколого-генетической организации количественных признаков в условиях флуктуации климата (И.А. Драгавцева, В.А. Драгавцев, И.Ю. Савин и др., 2023) [15].

Результаты и обсуждения

Предельные показатели низких температур, опасных для получения хозяйственного урожая в каждой фазе развития цветковых почек определяли по многолетним исследованиям ФГБНУ СКФНЦСВВ, Научно-исследовательского института Горного и предгорного садоводства Кабардино-Балкарии, данным госсортоучастков Северного Кавказа.

Таблица 1

Показали пределов отрицательных температур, вызывающих гибель цветковых почек сортов абрикоса в зонах садоводства Кабардино-Балкарии

| Фазы развития цветковых почек | Сорта абрикоса | | | |
|-------------------------------|----------------|---------------------|---------------|---------------------|
| | Краснощекий | | Ахмат-Шаптал | |
| | Месяц, декада | Пределы температуры | Месяц, декада | Пределы температуры |
| Почка в покое* | Январь I | < -25 | Январь I | < -27 |
| | II | < -24 | II | < -26 |
| | III | < -20 | III | < -25 |
| Начало вегетации | Февраль I | < -19 | Февраль I | < -23 |
| | II | < -17 | II | < -22 |
| | III | < -15 | III | < -19 |
| Начало роста почки | Март I | < -15 | Март I | < -15 |
| | II | < -8 | II | < -12 |
| | III | < -6 | III | < -8 |
| Распускание цветковых почек | Апрель I | < -3 | Апрель I | < -3 |

Примечания: *фазы цветковых почек обозначены в соответствии с учебником «Плодоводство» под ред. В.А. Колесникова, Москва: Колос, 1979, 415 с.

Сорт Краснощекий (европейская группа *Armeniaca vulgaris*) произошел от дикорастущего абрикоса (урюка)¹, произрастающего в Казахстане, Заилийский Ала-Тау.

Проведено сравнение абсолютных минимумов температур для данного сорта в условиях Республики Кабардино-Балкария (табл. 1) с урюком в Республике Казахстан (табл. 2) с целью подтверждения наличия наследственно закрепленных пределов реакций генотипов на температурные колебания окружающей среды по конкретным фазам развития.

Таблица 2

Показали пределов отрицательных температур, вызывающих гибель цветковых почек сортов дикорастущего абрикоса (урюка). Метеостанция Алма-Ата, 848 м над уровнем моря, данные Т.Н. Саловой

| Фазы развития цветковых почек | Территория возделывания | |
|---|-------------------------|---------------------|
| | Казахстан | |
| | Месяц, декада | Пределы температуры |
| Почка в покое | Ноябрь I, II, III | < -24 |
| | Декабрь I, II, III | < -30 |
| | Январь I, II | < -25 |
| Начало вегетации | III | < -24 |
| Начало роста почки | Февраль I | < -23 |
| | II | < -20 |
| | III | < -18 |
| Распускание цветковых почек | Март I | < -15 |
| | II | < -12 |
| | III | < -10 |
| Появление венчиков, расхождение лепестков | Март III | < -8 |
| | Апрель I | < -5 |
| Цветение | I | < -3 |

Установлено, что стрессоры, снимающие урожай абрикоса и урюка на различных территориях, оказались идентичны, то есть имеет место наследственная передача свойства адаптивности сортов к низким температурам.

Следовательно, резервы повышения продуктивности сортов абрикоса и создание новых сортов плодовых культур следует искать в раскрытии наследственных особенностей проявления защитно-приспособительных реакций в каждой из фаз онтогенеза, а не в целом по признаку «морозостойкость».

Для выявления степени адаптивности сортов абрикоса к низким температурам зимне-весеннего периода разработаны графические модели, раскрывающие селекционно-значимые признаки по анализируемому показателю в разрезе фаз развития (рис. 1-4).

1 период (1985-2000гг.)

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|--|-----------------------------|--|--|--------------------------|--|--|----------------------------|--|--|
| | | | | | | | | | | | |
| январь (I, II, III декады) | | | февраль (I, II, III декады) | | | март (I, II, III декады) | | | апрель (I, II, III декады) | | |

2 период (2001-2024гг.)

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|--|-----------------------------|--|--|--------------------------|--|--|----------------------------|--|--|
| | | | | | | | | | | | |
| январь (I, II, III декады) | | | февраль (I, II, III декады) | | | март (I, II, III декады) | | | апрель (I, II, III декады) | | |

Рис. 1 Анализ степени адаптивности сорта Краснощекий к температурным условиям зимне-весеннего периода в Степной зоне садоводства Кабардино-Балкарии

1 период (1985-2000гг.)

¹ Урюк – сухофрукт с косточкой, просто дикорастущий абрикос



Рис. 2 Анализ степени адаптивности сорта Краснощекий к температурным условиям зимне-весеннего периода в Предгорной зоне садоводства Кабардино-Балкарии



Рис. 3 Анализ степени адаптивности сорта Ахмат Шаптал к температурным условиям зимне-весеннего периода в Степной зоне садоводства Кабардино-Балкарии



Рис. 4 Анализ степени адаптивности сорта Ахмат Шаптал к температурным условиям зимне-весеннего периода в Предгорной зоне садоводства Кабардино-Балкарии*

*Условное обозначение: Голубой - отсутствие критических минимальных температур, влияющих на урожай; Красный - гибель урожая

Из представленных моделей видно, что сорт Краснощекий во всех изучаемых зонах показал повышенную морозостойкость в фазе органического покоя в обоих периодах лет.

Таблица 3

Показали пределов отрицательных температур, вызывающих гибель цветковых почек сортов груши в зонах садоводства Кабардино-Балкарии

| Фазы развития цветковых почек | Сорта груши | | | |
|--|---------------|---------------------|---------------|---------------------|
| | Киффер | | Левен | |
| | Месяц, декада | Пределы температуры | Месяц, декада | Пределы температуры |
| Почка в покое | Январь I | < -25 | Январь I | < -28 |
| | II | < -25 | II | < -28 |
| | III | < -23 | III | < -28 |
| Начало вегетации | Февраль I | < -23 | Февраль I | < -28 |
| | II | < -22 | II | < -28 |
| | III | < -18 | III | < -26 |
| Начало роста почки | Март I | < -18 | Март I | < -22 |
| | II | < -16 | II | < -20 |
| | III | < -15 | III | < -18 |
| Распускание цветковых почек; выдвижение соцветий | Апрель I | < -11 | Апрель I | < -15 |

Сорт Ахмат Шаптал обладает повышенной морозостойкостью в фазе цветения также во всех зонах и периодах лет.

Следовательно, эта информация может быть использована в селекции на повышение устойчивости сортов абрикоса к низким температурам по данным конкретным фазам развития.

Аналогичная работа проведена для двух сортов груши с различным уровнем адаптивности к воздействию низких температур. В таблице 3 представлены пределы минимальных температур, губительных для цветковых почек сортов груши в условиях сложного рельефа Республики Кабардино-Балкария (совместно с А. Сатибаловым).

С помощью графического моделирования выявлена различная степень пластичности онтогенезов сортов груши к лимитам среды во времени и пространстве (рис. 5-8).

1 период (1985-2000гг.)

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|--|--|--------------------------|--|--|----------------------------|--|--|--|
| | | | | | | | | | | |
| январь (I, II, III декады) | февраль (I, II, III декады) | | | март (I, II, III декады) | | | апрель (I, II, III декады) | | | |

2 период (2001-2024гг.)

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|--|--|--------------------------|--|--|----------------------------|--|--|--|
| | | | | | | | | | | |
| январь (I, II, III декады) | февраль (I, II, III декады) | | | март (I, II, III декады) | | | апрель (I, II, III декады) | | | |

Рис. 5 Анализ степени адаптивности сорта Киффер к температурным условиям зимне-весеннего периода в Степной зоне садоводства Кабардино-Балкарии

1 период (1985-2000гг.)

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|--|--|--------------------------|--|--|----------------------------|--|--|--|
| | | | | | | | | | | |
| январь (I, II, III декады) | февраль (I, II, III декады) | | | март (I, II, III декады) | | | апрель (I, II, III декады) | | | |

2 период (2001-2024гг.)

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|--|--|--------------------------|--|--|----------------------------|--|--|--|
| | | | | | | | | | | |
| январь (I, II, III декады) | февраль (I, II, III декады) | | | март (I, II, III декады) | | | апрель (I, II, III декады) | | | |

Рис. 6 Анализ степени адаптивности сорта Киффер к температурным условиям зимне-весеннего периода в Предгорной зоне садоводства Кабардино-Балкарии

1 период (1985-2000гг.)

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|--|--|--------------------------|--|--|----------------------------|--|--|--|
| | | | | | | | | | | |
| январь (I, II, III декады) | февраль (I, II, III декады) | | | март (I, II, III декады) | | | апрель (I, II, III декады) | | | |

2 период (2001-2024гг.)

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|--|--|--------------------------|--|--|----------------------------|--|--|--|
| | | | | | | | | | | |
| январь (I, II, III декады) | февраль (I, II, III декады) | | | март (I, II, III декады) | | | апрель (I, II, III декады) | | | |

Рис. 7 Анализ степени адаптивности сорта Левен к температурным условиям зимне-весеннего периода в Степной зоне садоводства Кабардино-Балкарии

1 период (1985-2000гг.)

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|--|--|--------------------------|--|--|----------------------------|--|--|--|
| | | | | | | | | | | |
| январь (I, II, III декады) | февраль (I, II, III декады) | | | март (I, II, III декады) | | | апрель (I, II, III декады) | | | |

2 период (2001-2024гг.)

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|--|--|--------------------------|--|--|----------------------------|--|--|--|
| | | | | | | | | | | |
| январь (I, II, III декады) | февраль (I, II, III декады) | | | март (I, II, III декады) | | | апрель (I, II, III декады) | | | |

Рис. 8 Анализ степени адаптивности сорта Левен к температурным условиям зимне-весеннего периода в Предгорной зоне садоводства Кабардино-Балкарии

Проведённый анализ позволяет утверждать, что сорт Киффер обладает селекционно-значимым признаком (повышенная морозостойкость) в фазу набухания цветковых почек (март). Сорт Левен – в фазу вынужденного покоя (февраль).

Обнаруженные особенности устойчивости сортов груши по конкретным фазам развития следует учитывать при селекционном процессе (фазовая селекция).

Выводы

1. Получены новые знания о возможности изучения степени адаптивности сортов многолетних плодовых культур с целью поиска доноров, защищенных от воздействия низких температур в конкретные фазы развития.
2. Представленные материалы имеют научную значимость для селекции многолетних культур, упреждающих глобальное изменение климата.
3. Предложены рекомендации по созданию новых сортов с защищенностью продукционного процесса в конкретные фазы онтогенеза от негативных воздействий температурных лимитов среды (фазовая селекция).

Список литературы

1. Беккер Х. Селекция растений. – М.: Товарищество науч. изд. КМК. – 2015. – 425 с.
2. Драгавцев В.А., Драгавцева И.А., Лопатина Л.М. Управление продуктивностью сельскохозяйственных культур на основе закономерностей их генетических и фенотипических изменений при смене лимитов внешней среды. – Краснодар. – 2003. – 208 с.
3. Драгавцева И.А. Новые научные подходы к управлению продукционным процессом на примере сортов абрикоса в условиях сложного рельефа Кабардино-Балкарии // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2023. – №148. – С. 22-30.
4. Драгавцева И.А., Драгавцев В.А., Савин И.Ю., Клюкина А.В. Современные научные подходы к радикальному повышению урожаев плодовых культур // Садоводство и виноградарство. – 2022. – №5. – С. 38-46.
5. Драгавцев В.А. Литун П.П., Шкель Н.М. Эколого-генетический контроль количественных признаков растений // Доклады академии наук СССР, 1984. – №3. – С. 720-723.
6. Драгавцев В.А. О природе ВГС и селекционном управлении урожаями на фоне разных динамик лим-факторов среды по фазам развития растений: Доклад и публикация на Международной конференции «Генетика и биотехнология XXI века: проблемы, достижения, перспективы» // Юбилейная конференция «55 лет Ин-ту генетики и цитологии НАН Беларуси», 2-6 ноября 2020. – Минск, 2020.
7. Драгавцев В.А., Драгавцева И.А., Савин И.Ю. К созданию инновационных высоких технологий конструирования сортов плодовых культур с максимальными урожаями и оптимального размещения на фонах разных динамик лимитирующих факторов внешней среды. – Краснодар, 2022. – 95 С.
8. Драгавцева И.А. Новые методы радикального повышения урожаев сортов плодовых культур на основе теории эколого-генетической организации количественных признаков в условиях флуктуации климата. – Краснодар. 2023. – 55 с.
9. Дьяков А.Б. Надорганизменные биологические системы и принципы их изучения. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2019. – 267 с.
10. Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений как самостоятельная и научная дисциплина. Теория и практика. – Краснодар. – 2010. – 486 с.
11. Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021-2030 гг.) // Распоряжение №3864-р от 31.12.2020г. – М. – 149 с.
12. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Орел, 1999. – 606 с.

13. *Anatov D.M.* The diversity of fruit shapes of *Prunus armeniaca* L. natural populations in Mountainous Dagestan // *Acta Hortic.* – 2021. – Vol. 1324. – P. 265-270.

14. *Bartolini S.* Local climate change affects the apricot blooming in Tuscany // *Acta Hortic.* – 2020. – No. 1290. – P. 19-26.

15. *Rai I., Bachheti R.K., Saini C.K.* A review on phytochemical, biological screening and importance of Wild Apricot (*Prunus armeniaca* L.) // *Orient Pharm Exp Med* 16. – 2016. – P. 1-15.

Статья поступила в редакцию 19.05.2024 г.

Dragavtseva I.A., Dragavtsev V.A., Akhmatova Z.P., Klyukina A.V. New approaches to the breeding process of fruit crops based on the study of the degree of their adaptability to environmental stress factors // *Bull. of the State Nikita Botan. Gard.* – 2024. – № 153. – P. 29-36

Recent studies have shown that the productivity levels of agricultural plants are determined mainly by the effects of their interaction with the environment. Therefore, the task of breeding perennial fruit crops includes the creation of new cultivars in anticipation of the negative impact of its global change on fruiting. Work was carried out to identify sources and donors of adaptability systems of fruit crop cultivars (using apricot as an example) to low temperatures of the winter-spring period for specific development phases, considering climate fluctuations, for the breeding process. Their response to manifestations of temperature stresses was studied over a long period of years (1985-2024) in various zones of the Kabardino-Balkaria Republic. Graphic models of the "genotype-environment" interaction were developed, which made it possible to identify development phases in specific cultivars that have increased resistance to low-temperature stress. Reserves for increasing the productivity of cultivars for specific development phases were identified. As a result, a new approach to increasing the effectiveness of the breeding process was proposed, considering global climate change (phase selection).

Key words: *apricot; pear; cultivars; climate; breeding; frost resistance; development phases, adaptability*