

УДК 631.527:634.1

DOI: 10.25684/0513-1634-2023-148-49-55

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ КОМПЛЕКСА ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ЯБЛОНИ ДЛЯ СЕЛЕКЦИОННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЦЧР

Наталья Николаевна Савельева, Андрей Николаевич Юшков,
Александр Сергеевич Земисов, Владислав Вячеславович Чивилев,
Надежда Вячеславовна Борзых

ФГБНУ «Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина»,
393770, г. Мичуринск, ул. Мичурина, 30
E-mail: saveleva_natalya_nic@mail.ru

Приведены результаты исследований по выделению генетических источников комплекса хозяйственно ценных признаков яблони. Определяли урожайность, устойчивость по II компоненту зимостойкости (понижение температуры до -40°C в зимний период) и устойчивость к парше с целью отбора перспективных генотипов для дальнейшего селекционного использования. В условиях эпифитотии вегетационного периода 2022 г. получила распространение шестая раса парши в насаждениях яблони Федерального научного центра им. И.В. Мичурина, как и, предположительно, в Центрально-Черноземном регионе. Вследствие высокой способности гриба *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint. к рекомбинационной и мутационной изменчивости, появляется опасность снижения устойчивости генотипов яблони к этому заболеванию. При усиливающейся нестабильности климата высока вероятность в условиях средней полосы России снижения температуры до минимальных среднесуточных показателей. В этой связи признак максимальной морозостойкости остается определяющим при возделывании плодовых растений в ЦФО. Это относится и к выращиванию яблони, устойчивость которой к неблагоприятным экологическим факторам, в том числе к низким температурам и парше, может меняться, что отражается на продуктивности растений, урожайности и, в конечном счете, на экономической эффективности производства продукции

Ключевые слова: яблоня; сорт; морозостойкость; парша; преодоление устойчивости; урожайность

Введение

Яблоня является экономически эффективной плодовой культурой и широко распространена в нашей стране и в мире. Главным признаком адаптации плодовых растений является продуктивность. От этого важнейшего биологического свойства существенно зависят сроки окупаемости затрат на закладку многолетних насаждений и последующий уход. Получение высоких устойчивых урожаев с использованием новых сортов яблони и современных технологий возделывания является важнейшим фактором развития отрасли садоводства [1, 11, 13].

В настоящее время в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ, входит 496 сортов яблони. За последние пятнадцать лет зарегистрировано более 70 сортов [3]. Селекционная работа продолжается во многих учреждениях нашей страны. В связи с работами по импортозамещению в отечественном садоводстве происходит реконструкция садов и внедрение в производство новых технологических схем. Приоритетным направлением при этом остается продуманный подбор сортов яблони для интенсивных многолетних насаждений.

Наиболее актуальной задачей для средней и более северной зоны садоводства является создание устойчивых к парше сортов, так как это заболевание может практически полностью уничтожить урожай и существенно ослабить общее состояние растений. Иммуниет к шестой расе парши в условиях Центрального Черноземья был стабилен до 2022 г., когда были обнаружены признаки поражения паршой генотипов с

геном *Rvi6*. Время преодоления патогеном устойчивости гена-хозяина определяется скоростью его распространения. Широкое применение фунгицидов, увеличение доли генетически близких сортов, увеличивает темпы движущего отбора. При этом возникают более вредоносные расы патогенов, что приводит к повышению вероятности вредоносных микроорганизмов получить преимущество в системе «хозяин-паразит», так как условия внешней среды существенно меняют их рекомбинационную и мутационную изменчивость. Также способствует распространению новых рас парши неконтролируемое поступление посадочного материала. Поэтому важнейшей задачей селекционеров является создание генотипов со стабильной долговременной устойчивостью к *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint. [5, 7, 9, 12, 15].

Для Центрального Черноземья в последние десятилетия характерна повышенная температура в зимние месяцы. Но при усиливающейся нестабильности климата высока вероятность снижения температуры до минимальных среднесезонных показателей. Яблоня чувствительна к происходящим климатическим колебаниям. Это приводит к изменению показателей устойчивости растений к неблагоприятным как биотическим, так и абиотическим факторам, в том числе к морозам, парше, что отражается на продуктивности растений, урожайности и, в конечном счете, на экономической эффективности производства продукции [8, 10].

В силу широчайшего генетического разнообразия гетерозиготности *Malus domestica* по подавляющему количеству признаков, практически невозможно в потомстве провести насыщающие скрещивания. Поэтому приоритетное значение приобретает выделение генетических источников по комплексу основных ценных селекционных признаков: устойчивости по II компоненту зимостойкости (понижение температуры до -40°C в зимний период, максимальная морозостойкость), устойчивости к парше и урожайности.

Цель наших исследований заключалась в оценке и отборе перспективных для селекционного использования сортов яблони по признакам морозостойкости, устойчивости к парше и урожайности.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены в 2019-2022 гг. на базе насаждений яблони (Селекционно-генетического центра ВНИИГ и СПР им И.В. Мичурина) ФНЦ им. И.В. Мичурина, г. Мичуринск.

Исследования были проведены с использованием методических руководств: «Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур» (1999), «Ускоренная оценка зимостойкости плодовых и ягодных растений» (1978). Объектами изучения явились пять сортов яблони, имеющих полигенную устойчивость к парше и 10 – носителей гена *Rvi6*, в качестве контрольного использован сорт Богатырь. Площадь насаждений 12 га, без орошения. Схема посадки 5x3 м. Год закладки 2015. Посадочный материал – однолетние саженцы. Растения привиты на подвое 54-118. Изучаемые генотипы входят в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации [3, 6, 14].

Результаты и обсуждение

По данным метеонаблюдений за годы исследований минимальная температура воздуха не была критической. Количество осадков в среднем за 2021 и 2022 г. превышало среднесезонные показатели. Особенно выделяется 2022 г., когда отклонение превысило многолетний уровень на 34,4% (табл. 1). В ФНЦ им. И.В. Мичурина 2022 г. стал переломным в области преодоления устойчивости яблони к шестой расе парши. Понижение температуры воздуха в мае (в среднем на 3°C) при

достаточном количестве влаги спровоцировало развитие патогена. Во время вегетации наблюдалась эпифитотийная вспышка парши. Было отмечено поражение листового аппарата и плодов ряда сортов яблони, имеющих ген *Rvi6*.

Таблица 1

Метеорологические условия за годы исследований (gr.ru Архив погоды в Мичуринске, метеостанция № 27935)

Год	Температура воздуха °С					Осадки (мм)		
	Max	Min	В среднем за год	Средне многолетняя	Отклонение, +, - (4 - 5)	В среднем за год	Средне многолетняя	Отклонение, +, - (7 - 8)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2019	33,5	- 26,8	7,8	7,2	0,6	445	549	- 104
2020	35,3	- 20,2	8,2	7,2	1,0	528	549	- 21
2021	34,7	- 25,6	7,2	7,2	0,0	580	549	+ 31
2022	32,8	- 18,6	7,3	7,2	0,1	738	549	+ 189

Еще в 2005 г. исследователями Республики Беларусь отмечено поражение паршой иммунных сортов: 'Freedom', 'Vanda', 'Имрус', 'Юбиляр', 'Болотовское', 'Витос' в годы эпифитотий [3]. Данные таблицы 2 показывают, что сорта яблони существенно различаются по степени поражения патогеном.

Наибольший балл поражения листьев (2,0-2,9 балла) и плодов (1,5-1,7 балла) имели сорта: 'Рождественское', 'Болотовское', 'Академик Казаков'. Листовой аппарат сортов 'Благовест' и 'Былины' пострадал на 0,7 и 0,8 балла, плоды на 1,1 и 0,9 балла соответственно. Сохранили устойчивость к парше сорта 'Успенское', 'Вымпел', 'Фрегат', 'Флагман', 'Мунстер', а также сорт Скала и колонновидный сорт 'Каскад'. Предполагается, что у формы *Malus floribunda* 821 вероятно имеется второй доминантный ген *Rvi7*, индуцирующий реакцию гиперчувствительности.

Таблица 2

Степень поражения паршой сортов яблони (балл)

Сорт	Степень поражения (2019-2021 гг., в среднем)		Степень поражения (2022 г.)	
	Листовой аппарат	Плоды	Листовой аппарат	Плоды
Сорта - носители гена <i>Rvi6</i>				
'Успенское'	0	0	0	0
'Вымпел'	0	0	0	0
'Фрегат'	0	0	0	0
'Флагман'	0	0	0	0
'Мунстер'	0	0	0	0
'Благовест'	0	0	0,7	1,1
'Былина'	0	0	0,8	0,9
'Рождественское'	0	0	2,0	1,5
'Болотовское'	0	0	2,1	1,7
'Академик Казаков'	0	0	2,9	1,5
Сорта с полигенной устойчивостью к парше				
'Памяти Нестерова'	1,0	0,5	2,7	2,9
'Богатырь'	2,9	2,3	3,7	4,5
'Мартовское'	3,8	3,3	4,2	4,6
'Лобо'	4,3	4,5	4,5	4,6
'Лигол'	4,4	4,8	5,0	5,0

Дальнейшие наблюдения и ДНК исследования будут направлены на выяснение причины сохранения устойчивости у отмеченных генотипов яблони. Возможно, в геноме этих сортов присутствует ген, контролирующей стабильность устойчивости к шестой расе парши или она сохраняется на высоком полигенном уровне.

Из изученных сортов с полигенной устойчивостью к *V. inaequalis* высокой сопротивляемостью к патогену характеризуется сорт 'Памяти Нестерова' с показателями поражения листьев на 2,7 балла, плодов на 2,9 балла. Яблоки сортов 'Богатырь', 'Мартовское', 'Лобо' и 'Лигол' были поражены на 4,5-5,0 балла. Товарный вид плодов был полностью потерян. Существенно пострадал и листовой аппарат отмеченных генотипов, показатели поражения листьев составили от 3,7 до 5,0 балла.

Преодоление устойчивости гена-хозяина в решающей степени определяется скоростью распространения гриба. Этому способствует непродуманный ввоз растительного материала. В создании службы карантина растений важнейшая роль отводится великому учёному-исследователю, академику Н.И. Вавилову. В своей работе в 30-х годах он писал: «Развёртывание широкой интродукции новых растений и сортов должно идти одновременно с созданием карантина растений ... Ввоз растений из-за границы должен быть централизован и строго контролируем» [2]. Кроме того, широкое применение фунгицидов, возделывание генетически близких сортов, увеличивает темпы эволюционного отбора. При этом повышается вероятность вредоносных микроорганизмов получить преимущество в системе «хозяин-паразит», так как условия внешней среды существенно меняют их рекомбинационную и мутационную изменчивость.

В Центрально-Черноземном регионе лимитирующим фактором зимних условий при выращивании плодовых растений остается максимальная морозостойкость. Потенциал устойчивости возделываемых сортов яблони по II компоненту зимостойкости должен быть вполне достаточен для средней зоны садоводства. Как следует из данных таблицы 3, у всех изученных сортов при максимальных морозах наиболее уязвима ткань древесины. Ткани коры и камбия не пострадали.

Таблица 3

Степень подмерзания тканей однолетних ветвей и почек у некоторых сортов яблони после промораживания при -40°C (2020-2022 гг.)

Сорт	Степень подмерзания, балл			
	Кора	Камбий	Древесина	Почки
'Богатырь' (к)	0	0	1,9	1,1
'Былина'	0	0	1,2*	0
'Мунстер'	0	0	1,2*	0
'Фрегат'	0	0	1,3*	0,2
'Болотовское'	0	0	1,4*	0,8
'Мартовское'	0	0	1,5*	0,3
'Вымпел'	0	0	1,5*	0,1
'Успенское'	0	0	1,7	0,3
'Академик Казаков'	0	0	1,7	0,2
'Памяти Нестерова'	0	0	1,8	0,1
'Флагман'	0	0	1,9	0
'Рождественское'	0	0	2,6	1,0
'Благовест'	0	0	2,7	0
'Лобо'	0	0	2,9	0
'Лигол'	0	0	4,3	1,8
НСР ₀₅			0,21	

* Существенные различия с контролем при $P = 0,95$

В результате исследований не выявлено генотипов, способных без повреждений древесины выдерживать низкие температуры. Наименьшее существенное подмерзание (1,2-1,5 балла) отмечено у сортов отечественной селекции – 'Былина', 'Мунстер', 'Фрегат', 'Болотовское', 'Мартовское', 'Вымпел'. Сорта 'Успенское', 'Академик Казаков', 'Памяти Нестерова', 'Флагман' по устойчивости ксилемы не уступали контрольному (1,7-1,9 балла). Более низкой морозостойкостью характеризуются деревья сортов 'Рождественское', 'Благовест', 'Лобо' (2,6-2,9 балла). Температура в -40°C привела к необратимым повреждениям древесины 4,3 балла и почек 1,8 балла сорта 'Лигол'. Все другие сорта при хорошей закалке характеризуются более высокой устойчивостью почек к низким температурам (0-1,0 балла).

Продуктивность выращиваемых растений выступает основным показателем экологической адаптации сорта (табл. 4). Резкие температурные колебания и неравномерное распределение осадков в течение вегетационного периода, а также другие негативные экологические факторы неблагоприятно отражаются на продуктивности плодовых насаждений и качестве плодов. В 2020 г. сложились благоприятные погодные условия для цветения и плодоношения яблони. В течение вегетации отмечалось обильное цветение и плодоношение растений.

В 2021 г. цветение большинства сортов яблони было довольно слабым, что связано с резким похолоданием в начале мая. Это привело к снижению продуктивности по сравнению с предыдущим годом.

Снижение температуры воздуха в мае 2022 г. спровоцировало задержку, замедление и увеличение сроков цветения яблони. Но фактор продолжительности срока цветения позволил избежать повреждения цветков холодом и ветром. Длительное цветение способствовало хорошему опылению и образованию завязей. Таким образом, учитывая пластичность сортов яблони в реакции на температурные условия, можно отметить, что в вегетационный период 2022 г. сложились благоприятные погодные условия для плодоношения растений.

Таблица 4

Продуктивность и урожайность сортов яблони

Сорт	2020 г.		2021 г.		2022 г.		В среднем за 3 года		
	1	2	1	2	1	2	1	2	3
'Вымпел'	5,0	39,4	4,5	30,7	5,0	47,2	4,8	39,1*	26,1*
'Мунстер'	5,0	39,1	4,8	31,2	5,0	45,9	4,9	38,7*	25,8*
'Рождественское'	5,0	40,2	4,9	33,1	4,9	41,0	4,9	38,1*	25,4*
'Флагман'	5,0	33,1	4,1	27,5	5,0	38,7	4,7	33,1*	22,1*
'Академик Казаков'	5,0	29,5	4,3	26,1	5,0	41,4	4,8	32,3*	21,5*
'Былина'	4,8	28,7	4,7	28,2	5,0	39,3	4,8	32,1*	21,4*
'Фрегат'	5,0	27,8	4,3	24,9	4,8	31,1	4,7	27,9*	18,6*
'Благовест'	5,0	26,5	4,5	24,9	5,0	30,1	4,8	27,2*	18,1*
'Памяти Нестерова'	4,9	27,0	4,6	25,6	5,0	28,8	4,8	27,1*	18,0*
'Болотовское'	4,9	26,2	3,4	18,9	5,0	30,8	4,4	25,3*	16,9
'Успенское'	5,0	30,3	3,8	25,8	3,7	15,2	4,2	23,8	15,9
'Лобо'	4,9	22,4	3,0	11,2	4,5	26,5	4,1	20,0	13,3
'Богатырь' (к)	4,8	25,1	3,3	17,6	4,0	22,9	4,0	21,9	14,6
'Мартовское'	5,0	23,2	3,3	15,5	4,5	25,6	4,3	21,4	14,3
'Лигол'	4,8	15,6	1,3	0,7	4,6	18,3	3,6	11,5	7,7
НСР ₀₅								2,3	2,4

Примечания 1 – цветение (балл), 2 – продуктивность (кг с дерева), 3 – урожайность (т/га)

* Существенные различия с контролем при $P = 0,95$

В среднем за три года отмечена высокая урожайность у сортов яблони 'Вымпел' (26,1 т/га), 'Мунстер' (25,8 т/га), 'Рождественское' (25,4 т/га). Несколько ниже показатели сортов 'Флагман', 'Академик Казаков' и 'Былина' (22,1-21,4 т/га). Низкий балл цветения (3,7) наблюдался в 2022 г. у сорта 'Успенское'. Продуктивность при этом составила 15,2 кг с дерева, что практически в два раза ниже уровня 2020 г. Возможно, этот спад объясняется периодичностью плодоношения. Вегетационный период 2022 г. сложился благоприятно даже для сорта 'Лигол', который наиболее чувствителен к низким зимним температурам. Отмечено цветение этого сорта на 4,6 балла и продуктивность 18,3 кг с дерева, но в среднем за три года урожайность составила 7,7 т/га. Средняя продуктивность сортов 'Успенское', 'Лобо' не имеет существенной разницы при НСР₀₅ в 2,3 кг и находится на уровне или уступает контрольному сорту 'Богатырь'. Таким образом, выращивание экологически устойчивых сортов яблони обладает неоспоримым преимуществом, о чем свидетельствует и продуктивность изучаемых сортов.

Выводы

Обеспечение стабильной долговременной устойчивости сортов к патогенам, особенно в условиях современной эколого-биологической обстановки ослабления у яблони иммунитета к парше, остается важнейшей проблемой для селекционеров. А также обеспечение высокого уровня зимостойкости растений. По результатам исследований были выделены генетические источники с комплексом ценных хозяйственно-биологических признаков: сорта 'Вымпел' и 'Мунстер', которые не имели признаков поражения паршой, обладали высокой морозостойкостью (обратимое поражение древесины 1,5 и 1,2 балла соответственно) и урожайностью ('Вымпел' – 26,1 т/га, 'Мунстер' – 25,8 т/га). Отмеченные генотипы рекомендуются для использования в дальнейшей селекционной работе.

Список литературы

1. Акимов М.Ю., Юшков А.Н., Савельева Н.Н., Чивилев В.В., Земисов А.С., Богданов Р.Е., Говорухина В.Б. Развитие научной школы по генетике и селекции плодовых культур академика РАН Н.И. Савельева // Материалы межд. науч-практ. конф., посвященной памяти академика РАН, доктора с.-х. наук, профессора Н.И. Савельева (Мичуринск, 24-26 мая 2017 г.). – Мичуринск, 2017. – С. 13-19.
2. Вавилов Н.И. Избранные произведения: в 2-х т. Под ред. и с коммент. Ф.Х. Бахтеева. – Л.: Наука, 1967. – Т. 1. – 424 с.
3. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1. «Сорта растений» (официальное издание). – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. – С. 385-397.
4. Козловская З.А., Ярмолич С.А., Марудо Г.М. Сравнительная оценка потенциала устойчивости к парше сортов и гибридов яблони в эпифитотийный год // Плодоводство: научные труды. Институт плодородия Национальной академии наук Беларуси. – Самохваловичи, 2005. – Т. 17, Ч. 1. – С. 30-35.
5. Савельева Н.Н., Юшков А.Н., Земисов А.С., Борзых Н.В., Чивилев В.В., Лыжин А.С. Обеспечение стабильности устойчивости генотипов яблони к грибу *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint. // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – 2022. – Т. 14, № 4 – С. 384-396.
6. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под общ. ред. акад. РАН Е. Н. Седова и д. с.-х. н. Т. П. Огольцовой. – Орел: ВНИИСПК, 1999. – 608 с.

7. Савельев Н.И., Лыжин А.С., Савельева Н.Н. Генетическое разнообразие рода *Malus* Mill по генам устойчивости к парше // Российская сельскохозяйственная наука. – 2016. – № 4. – С. 21-24.

8. Савельев Н.И., Юшков А.Н., Чивилев В.В., Савельева Н.Н., Земисов А.С. Потенциал устойчивости плодовых культур к низкотемпературным стрессорам // Плодоводство и ягодоводство России. – 2008. – Т. 18. – С. 503-506.

9. Савельев Н.И., Юшков А.Н., Чивилев В.В., Земисов А.С., Савельева Н.Н., Кириллов Р.Е. Селекция высокоадаптивных сортов семечковых культур с генетической устойчивостью к болезням // В сборнике: Интенсификация и оптимизация продукционного процесса сельскохозяйственных растений. Материалы Международной научно-практической конференции (Орёл, 6-8 октября 2009). – Орёл, 2009. – С. 142-145.

10. Савельева Н.Н. Адаптивный потенциал и продуктивность сортов яблони после зимы 2005/06 г. // Садоводство и виноградарство. – 2007. – № 2. – С. 9-10.

11. Савельева Н.Н. Биологические и генетические особенности яблони и селекция иммунных к парше и колонновидных сортов. – Мичуринск, 2016. – 280 с.

12. Савельева Н.Н., Лыжин А.С. Маркер-контролируемый скрининг генотипов яблони с иммунитетом к парше // Аграрная наука. – 2019. – № 3. – С. 135-137.

13. Савельева Н.Н. Хозяйственно-биологическая и экономическая оценка иммунных к парше сортов яблони в условиях Центрально-Черноземного региона России. Дис. канд. с.-х. наук: 06.01.05. Мичуринский гос. аграрный ун-т. – Мичуринск-научкоград, 2008. – 165 с.

14. Тюрина М.М., Гоголева Г.А. Ускоренная оценка зимостойкости плодовых и ягодных растений: методические рекомендации. – М., 1978. – 38 с.

15. Savel'ev N.I., Lyzhin A.S., Savel'eva N.N. Genetic diversity of genus *Malus* Mill. for scab resistance genes // Russian Agricultural Sciences. – 2016. – Vol. 42, № 5. – P. 310-313. DOI: 10.3103/S1068367416050189

Статья поступила в редакцию 13.07.2023 г.

Savelyeva N.N., Yushkov A.N., Zemisov A.S., Chivilev V.V., Borzykh N.V. Genetic sources of a complex of valuable apple tree traits for breeding use in the Central Black Earth region // Bull Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens. – 2023. – № 148. – P. 49-55.

The article presents the results of research of apple trees genetic sources with a complex of economically valuable traits. In particular, high crop productivity, resistance to the II component of winter hardiness (temperature lowering up to -40°C in winter) and scab resistance for further breeding. In the conditions of epiphytotic 2022 vegetation period, the sixth scab race has spread in apple plantations of the Federal Scientific Center, as well as, presumably, in the Central Black Earth region. Due to the high ability of the *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint. to combinational and mutational variability, there is a danger of reducing the resistance of apple genotypes to this disease. With the ongoing climate «anxiety», the probability of return of observed in the Central Black Earth region average long-term minimum conditions is not excluded. This factor remains limiting for the middle gardening zone. The resistance of apple trees to abiotic and biotic factors, including low temperatures and scab, may vary. This may affect plant productivity and, ultimately, the economic efficiency.

Key words: apple tree; cultivar; frost resistance; scab; resistance overcoming; crop productivity