

ЧАСТОТА ВСТРЕЧАЕМОСТИ АЛЛЕЛЕЙ ГЕНОВ, ВОВЛЕЧЕННЫХ В БИОСИНТЕЗ ЭТИЛЕНА И ЛЕЖКОСТЬ ПЛОДОВ У СОРТОВ ЯБЛОНИ РОССИЙСКОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ СЕЛЕКЦИИ

Дулов Михаил Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник

ГБУ Самарской области «Научно-исследовательский институт садоводства и лекарственных растений «Жигулевские сады»

443072, Самарская область, г. Самара, поселок опытной станции по садоводству, 18 км; тел. 89179549450, e-mail: dulov-tehfak@mail.ru

Ключевые слова: яблоня, сорт, хранение плодов, биосинтез этилена, аллели гена, Md-ACS1, Md-ACO1, гомозиготность.

В статье приведен анализ установленного аллельного состояния гена Md-ACS1 у 178 сортов яблони российской селекции и 335 сортов зарубежной селекции, а также аллелей гена Md-ACO1 у 169 генотипов отечественной и 235 генотипов зарубежной селекции. Цель исследования - определить частоту встречаемости аллелей генов биосинтеза этилена у наиболее распространенных в мире сортов яблони, предоставить селекционерам информацию о генотипах, которые имеют гомозиготу аллеля Md-ACS1-2 и отличаются лучшей лежкостью плодов при хранении. Среди сортов яблони российской селекции гомозиготными по аллелю Md-ACS1-2 в среднем являются 2,33% генотипов осеннего и 6,52% зимнего срока созревания, гетерозиготными (Md-ACS1-1/2) - 13,95 и 29,35%, а гомозиготными по аллелю Md-ACS1-1 соответственно 83,72 и 64,13% генотипов. В генотипах яблони зарубежной селекции частота встречаемости аллеля Md-ACS1-2 в гомозиготе у сортов осеннего срока созревания в 3,5 раза, зимнего срока созревания в 2,4 раза больше, чем у сортов отечественной селекции. При создании для Поволжья осенних сортов в качестве исходных форм представляют интерес сорта Василиса, Аканэ, Ребелла, Зестар, Райка, Роял Гала. При выведении новых генотипов яблони зимнего срока созревания гомозиготных по аллелю Md-ACS1-2 в качестве исходных форм отечественной селекции целесообразно применять сорта Азимут, Апорт АСС, Любава, Прикубанское, Щит и Георгия, зарубежной селекции - сорта Рубин, Никотер, Глостер, Милва, Рубинстеп, Топаз, Элиза, Амброзия, Онтарио, Санденс и Харальсон.

Введение

Яблоки содержат комплекс полезных веществ и незаменимы в питании человека, повышают иммунитет и положительно влияют на стрессоустойчивость [1]. В плодах яблони обнаружено большое количество биологически активных веществ, включая полифенолы, полисахариды, растительные стерины, пентациклические тритерпены и органические кислоты, которые совместно способствуют большинству положительных эффектов на здоровье человека, таких как антиоксидантные, противораковые и противовоспалительные [2, 3].

Потребительские качества и лежкость плодов яблони во многом связаны с интенсивностью протекания в них биохимических и фи-

зиологических процессов. Важная роль среди них принадлежит процессу биосинтеза этилена [4]. Небольшое количество этилена в плодах в период созревания повышает сроки хранения и товарные качества яблок [5].

Фитогормон этилен, производимый в период образования плодов яблони, аутоингибируется, а этилен, вырабатываемый в процессе созревания яблок, постепенно увеличивается до максимума, в значительной степени снижает их твердость, плоды переходят в стадию старения и теряют потребительские качества.

В синтезе этилена в плодах яблони большая роль принадлежит ферментам АЦК-синтаза и АЦК-оксидаза. В начале биосинтеза этилена аминокислота адеметионин при уча-

стии фермента АЦК-синтаза преобразуется в 1-аминоциклопропан-1-карбоновую кислоту (АЦК). Далее по воздействию АЦК-оксидазы она разлагается и образуется этилен, аммиак, муравьиную кислоту и CO₂. Концентрация эндогенного этилена в плодах яблони во многом зависит от количества АЦК и интенсивности работы ферментов АЦК-синтаза и АЦК-оксидаза [6].

Биосинтез этилена в период созревания и хранения плодов яблони в основном определяется аллельным состоянием генов Md-ACS1 и Md-ACO1 [7, 8]. Наличие и сочетание в одном генотипе яблони аллелей Md-ACS1-1 и Md-ACS1-2 обуславливают различный уровень биосинтеза этилена [9] и определяют неодинаковую лежкость яблок при хранении.

Присутствие в генотипе яблони аллеля Md-ACS1-1 указывает на достаточное производство этилена в плодах, а аллеля Md-ACS1-2 - на пониженный уровень биосинтеза в них этилена [10]. Наличие аллеля Md-ACS1-1 в гомозиготе приводит к максимальному биосинтезу этилена в плодах. Отсутствие гомозиготности данного аллеля может служить одним из критериев отбора гибридного материала при создании сортов яблони с твердыми, длительно хранящимися плодами. Сорта яблони, содержащие аллель Md-ACS1-2 в гомозиготе, имеют пониженный уровень, гетерозиготные – средний уровень биосинтеза этилена в плодах в период их созревания и хранения [11, 12].

У гена Md-ACO1 также обнаружены две аллельные формы - Md-ACO1-1 и Md-ACO1-2. Генотипы яблони, которые являются гомозиготными по аллелю Md-ACO1-1, продуцируют меньшее количество этилена в плодах, имеют лучшую лежкость плодов, чем гетерозиготные и гомозиготные по аллелю Md-ACO1-2 [13].

Одновременная гомозиготность у сорта яблони по аллелю Md-ACO1-1 и Md-ACS1-2/2 приводит к наименьшему количеству этилена в плодах и увеличению срока их хранения [14].

Цель исследования - определить частоту встречаемости аллелей генов биосинтеза этилена у наиболее распространенных в мире сортов яблони, предоставить селекционерам информацию о генотипах, которые имеют гомозиготу аллеля Md-ACS1-2 и отличаются лучшей лежкостью плодов при хранении.

Материалы и методы исследований

Объектом анализа аллельного состояния гена Md-ACS1, ответственного за биосинтез этилена в период созревания и хранения плодов яблони, служили 178 сортов российской селек-

ции, в т. ч. 86 сортов осеннего срока созревания и 92 сорта зимнего срока созревания плодов, а также 335 сортов зарубежной селекции, из которых 140 сортов осеннего срока созревания и 195 сортов зимнего срока созревания плодов.

Частота встречаемости аллелей гена Md-ACO1 определена на основе анализа установленного аллельного разнообразия данного гена у 169 сортов яблони отечественной селекции (83 - осеннего срока и 86 - зимнего срока созревания плодов) и у 235 сортов зарубежной селекции, в т. ч. у 92 - осеннего и 143 - зимнего срока созревания плодов.

Для обнаружения у сортов яблок аллелей гена Md-ACS1 применяют маркер Md-ACS1 [15], гена Md-ACO1 – маркер Md-ACO1 [10]. Созданные ДНК-маркеры являются достаточно эффективными, имеют следующую нуклеотидную последовательность и размер ПЦП-продукта:

Md-ACS1 F.5'-GAGATGCCATTTT TGTTTCGTAC-3', размер ПЦП-продукта 489 п.н.;

Md-ACS1 R.5'-CTACAACTTGCGTGCGGATTA TAAGTGT-3', размер ПЦП-продукта 655 п.н.;

Md-ACO1 F.5'-TCCCCCAATGCACCACTCCA-3', размер ПЦП-продукта 525 п.н.;

Md-ACO1 R.5'-ATTCTTGGCCTTCATAGCTTC-3', размер ПЦП-продукта 587 п.н.

Результаты исследования

Данные частоты встречаемости аллелей гена Md-ACS1 сортов яблони отечественной селекции, стран Европы, США и Канады, стран Азии и Океании осеннего и зимнего срока созревания приведены в таблице 1. У осенних сортов яблони отечественной селекции частота встречаемости аллеля Md-ACS1-2 в гомозиготе, что указывает на значительно меньшее количество этилена в яблоках в период созревания плодов, лучшую лежкость и хорошую сохраняемость потребительских качеств, составляет в среднем 2,33%. У осенних сортов зарубежной селекции частота встречаемости аллеля Md-ACS1-2 в гомозиготном состоянии более, чем в 3,5 раза больше, чем у сортов отечественной селекции, и в среднем составляет 8,57%. Наибольшее количество сортов яблони с аллелем Md-ACS1-2 в гомозиготе создано селекционерами стран Азии и Океании (26,67%), США и Канады (14,29%).

По аллелю Md-ACS1-1/2 гетерозиготными в среднем являются 13,95% российских сортов яблони осеннего срока созревания. Среди сортов яблони зарубежной селекции данного срока созревания ген Md-ACS1 в гетерозиготном состоянии (средний уровень биосинтеза этилена) отмечается в среднем у 35,00% генотипов, в

т.ч. у 30,77% - селекции стран Европы, у 52,38% - селекции США и Канады и у 40,00% - селекции стран Азии и Океании, что в 2,2-3,7 раза больше, чем в генотипах яблони российской селекции.

Наличие в генотипе яблони аллеля Md-ACS1-1 в гомозиготе указывает на высокий уровень синтеза этилена в плодах [16]. Из 86 сортов яблони российской селекции осеннего срока созревания с выявленным аллельным составом гена Md-ACS1 аллель Md-ACS1-1 в гомозиготном состоянии обнаружена у 72 сортов, что составляет 83,72%.

У сортов яблони отечественной селекции осеннего срока созревания аллель Md-ACS1-2 в гомозиготе имеют сорта Василиса и Зори Кубани. В генотипах яблони осеннего срока созревания, созданных селекционерами зарубежных стран, аллель Md-ACS1-2 в гомозиготе выявлена у сортов Аканэ (Япония), Алкмене (Германия), Гала (Новая Зеландия), Гала Маст (Новая Зеландия), Зестар (США), Опалесцент (США), Райка (Чехия), Ребелла (Германия), Роял Гала (Сербия), Салиш (Канада), Сеншу (Япония), Чивни (Италия).

В селекционном процессе создания для Поволжья осенних сортов яблони в качестве исходных форм из генотипов российской селекции представляет интерес использование сорта Василиса, а из генотипов зарубежной селекции - сорта Аканэ, Ребелла, Зестар, Райка, Роял Гала (табл. 2), которые имеют низкий уровень биосинтеза этилена в плодах, хорошую лежкость и сохранность потребительских свойств при хранении.

Данные исследований аллельного состава гена Md-ACS1 у 92 генотипов яблони зимнего сро-

Таблица 1
Частота встречаемости аллелей гена Md-ACS1, ответственного за синтез этилена в плодах яблони

Страна	Количество сортов	Частота встречаемости аллелей гена Md-ACS1, %		
		Md-ACS1-1/1	Md-ACS1-1/2	Md-ACS1-2/2
Сорта осеннего срока созревания				
Россия	86	83,72	13,95	2,33
Зарубежные страны:				
всего	140	56,43	35,00	8,57
страны Европы	104	64,42	30,77	4,81
США и Канада	21	33,33	52,38	14,29
страны Азии и Океании	15	33,33	40,00	26,67
Сорта зимнего срока созревания				
Россия	92	64,13	29,35	6,52
Зарубежные страны:				
всего	195	38,97	45,13	15,90
страны Европы	116	46,55	41,38	12,07
США и Канада	42	23,81	54,76	21,43
страны Азии и Океании	37	32,43	45,95	21,62

ка созревания плодов российской селекции и 195 генотипов зарубежной селекции свидетельствуют, что частота обнаружения аллеля Md-ACS1-2 в гомозиготе составляет в среднем соответственно 6,52 и 15,90% или в 2,8 и 1,9 раза больше, чем у осенних сортов яблони. На долю сортов яблони

Таблица 2
Краткая характеристика сортов яблони осеннего срока созревания плодов с гомозиготным составом аллеля Md-ACS1-2

№ п/п	Сорт	Страна	Происхождение	Краткая характеристика	Источник
1.	Василиса	Россия	Прима × Уэлси тетраплоидный	Иммунный к парше, морозо- и засухоустойчив, скороплодный. Мякоть плотная, сочная, кисло-сладкий вкус.	16
2.	Аканэ	Япония	Джонатан × Вустер Пирмейн	Иммунный к болезням, морозоустойчивость высокая. Мякоть плода сочная с кисло-сладким привкусом.	17
3.	Зестар	США	Государственная ярмарка × MN1691	Зимостойкость высокая, устойчивость к парше низкая. Плоды красного цвета, мякоть плотная, сочная, отличного кисло-сладкого вкуса.	8, 18
4.	Райка	Чехия	Катька × Чемпион	Морозо- и засухоустойчивость высокие, выдерживает перепады температур. Плоды сочные, красивые.	19
5.	Ребелла	Германия	Голден Делишес × Ремо	Морозостойкость хорошая, устойчив к парше. Плоды крупные, ярко-красные, твердые, кисло-сладкие.	20
6.	Роял Гала	Сербия	Оранжевый Пиппин Кокса × Голден Делишес	Зимостойкость высокая, устойчивость к болезням средняя. Мякоть хрустящая и сочная, вкус сладкий.	14

зимнего срока созревания с гомозиготным составом аллеля Md-ACS1-2 (низкий уровень биосинтеза этилена в плодах) североамериканской селекции приходится 21,43% генотипов и 21,62% селекции стран Азии и Океании.

Среди сортов яблони зимнего срока созревания с гетерозисным состоянием аллелей гена MD-ACS1 в среднем является 29,35% генотипов российской селекции и 45,13% генотипов зарубежной селекции, в т.ч. 41,38% сортов селекции стран Европы, 54,76% сортов селекции США и Канады, 45,95% сортов селекции стран Азии и Океании, что на 12,03...25,41% больше, чем сортов российской селекции. Количество сортов яблони зимнего срока созревания, гомозиготных по аллелю Md-ACS1-1 с высоким уровнем биосинтеза этилена в плодах селекции США и Канады, стран Азии и Океании, в 2,0-2,7 раза ниже, чем у сортов российской селекции данного срока созревания яблок.

В генотипах яблони российской селекции зимнего срока созревания плодов, с установленным состоянием АЦК-синтазы, гомозиготу Md-ACS1-2 имеют сорта Азимут (Делишес × Балсгард 0247E), Аленушкино (Джонатан × Пармен зимний золотой), Апорт АСС (Апорт кубанский × Кандиль кубанский, мутационная селекция), Любава (Китайка поздняя × Победа Черненко), Прикубанское (Ред Делишес × Опалесцент), Щит (Кубань спур × Скарлетт Стеймаред), Георгия (Либерти × Голден Делишес).

В генотипах яблони зимнего срока созревания плодов, созданных селекционерами стран Европы, аллель Md-ACS1-2 в гомозиготе выявлена у сортов Фуджи Мемо (Италия), Пинова (Германия), Релинда (Германия), Рубинола (Чехия), Никотер (Бельгия), Смеральда (Италия), Рубин (Чехия), Скаистис (Литва), Голд Пинк (Италия), Милва (Швейцария), Топаз (Чехия), Ребристое (Республика Беларусь), Эльстар (Голландия), Рубинстеп (Чехия), Глостер (Германия), Элиза (Нидерланды).

Гомозиготное состояние по аллелю Md-ACS1-2 у генотипов яблони зимнего срока созревания североамериканской селекции выявлена у таких сортов, как Аврора Голден Гала (Канада), Амброзия (Канада), Кримсон Крисп (США), Онтарио (США), Санденс (США), Раллс Джанет (США), Скарлетт Охара (США), Харальсон (США), Голд Раш (США). Среди генотипов яблони зимнего срока созревания селекции стран Азии и Океании гомозиготу Md-ACS1-2 имеют сорта Фуджи (Япония), Кинсей (Япония), Шинано Голд (Япония), Невсон (Новая Зеландия), Скирос (Новая Зелан-

дия), Сплendor (Новая Зеландия), Сциред (Новая Зеландия), Хуагуань (Новая Зеландия).

В селекционном процессе создания для Поволжья сортов яблони зимнего срока созревания плодов, гомозиготных по аллелю Md-ACS1-2 с низким биосинтезом этилена в плодах и хорошей лежкостью яблок во время хранения, в качестве исходных форм отечественной селекции представляет интерес использование сортов Азимут, Апорт АСС, Любава, Прикубанское, Щит и Георгия, а из генотипов зарубежной селекции - сорта Рубин, Никотер, Глостер, Милва (Джунами), Рубинстеп, Топаз, Элиза, Амброзия, Онтарио, Санденс и Харальсон.

Частота встречаемости аллелей гена Md-ACO1, ответственного за синтез этилена при созревании и хранении плодов у сортов яблони российской и зарубежной селекции, представлена в таблице 3. Гомозиготными по аллелю Md-ACO1-1 с низким содержанием этилена, которые демонстрируют лучшее сохранение стойкости при хранении плодов, среди сортов яблони российской селекции осеннего срока созревания являются в среднем 2,41% генотипов (Апорт кубанский, Память Евдокимова), а у сортов зимнего срока созревания данный аллель в гомозиготе имеется у 3,19% генотипов (Азимут, Аленушкино, Исетское позднее).

У сортов яблони зарубежной селекции осеннего срока созревания плодов в анализируемой выборке из 92 генотипов, с установленным состоянием АЦК-оксидазы, гомозигота Md-ACO1-1 не выявлена, а у сортов зимнего срока созревания гомозиготными по данному аллелю являются в среднем 5,59% генотипов, в том числе 2,53% сортов селекции стран Европы (Фуджи Мемо, Голд Пинк), 14,70% сортов селекции США и Канады (Вайн Крисп, Джульетта, Делишес, Ньютаун Пиппин, Старкримсон) и 3,33% сортов стран Азии и Океании (Фуджи).

Гомозиготность в одном генотипе аллеля Md-ACO1-1 и Md-ACS1-2, что обеспечивает не только лучшую сохраняемость плодов, но и меньшую зависимость от условий после сбора урожая для продления периода реализации яблок, в анализируемой нами выборке сортов отечественной селекции осеннего срока созревания не выявлена. Среди генотипов яблони зимнего срока созревания российской селекции в гомозиготе одновременно аллель гена Md-ACS1-2 и аллель Md-ACO1-1 обнаружены у сортов Азимут и Аленушкино [21].

У осенних сортов яблони зарубежной селекции одновременная гомозиготность по ал-

Таблица 3

Частота встречаемости аллелей гена Md-ACO1, ответственного за синтез этилена в плодах у сортов яблони российской и зарубежной селекции

Страна	Количество сортов	Частота встречаемости аллелей гена Md-ACO1, %		
		Md-ACO1-1/1	Md-ACO1-1/2	Md-ACO1-2/2
Сорта осеннего срока созревания				
Россия	83	2,41	85,54	12,05
Зарубежные страны:				
всего	92	0,00	36,96	63,04
страны Европы	67	0,00	37,31	62,69
США и Канада	15	0,00	26,67	73,33
страны Азии и Океании	10	0,00	50,00	50,00
Сорта зимнего срока созревания				
Россия	86	3,49	69,77	26,74
Зарубежные страны:				
всего	143	5,59	48,95	45,46
страны Европы	79	2,53	40,51	56,96
США и Канада	34	14,70	67,65	17,65
страны Азии и Океании	30	3,33	50,00	46,67

лелям Md-ACO1-1 и Md-ACS1-2/2, также, как и у сортов российской селекции, в анализируемой выборке генотипов не обнаружена. Среди генотипов яблони зимнего срока созревания плодов одновременная гомозиготность аллелей Md-ACO1-1 и Md-ACS1-2 установлена у сорта Фуджи (Роллс Дженет × Ред Делишес) [22] и сорта Фуджи Мемо (Клон сорта Фуджи) [21].

Обсуждение

Снижение интенсивности биосинтеза этилена в плодах в период их созревания и хранения значительно повышает лежкость и качество яблок. Сорта яблони, которые имеют аллель гена MD-ACS1-2 в гомозиготном состоянии, характеризуются низким, гетерозиготные генотипы (Md-ACS1-1/2) – средним, а гомозиготные по аллелю Md-ACS1-1 – высоким уровнем биосинтеза этилена при созревании и хранении яблок. Гомозиготность по аллелю Md-ACO1-1 в сочетании с аллельным вариантом Md-ACS1-2/2 по гену АЦК-синтазы, приводит к дополнительному снижению синтеза этилена в плодах яблони и увеличению срока их хранения.

В условиях Поволжья нужны сорта яблони, которые выдерживают ранние морозы в минус 25-30 градусов, обладают максимальной морозоустойчивостью в минус 40-43 градуса и не повреждаются после оттепелей при температуре минус 25-28 градусов. При создании для условий Поволжья генотипов яблони нового поколения с хорошей сохраняемостью потребительских свойств плодов при хранении в качестве родительских форм представляет интерес использование сортов отечественной селекции Василиса, Азимут, Апорт АСС, Любава, Прикубанское, Щит и Георгия, а из генотипов зарубежной селекции - сорта Аканэ, Ребелла, Зестар, Райка, Роял Гала, Рубин, Никотер, Глостер, Милва (Джунами), Рубинстеп, Топаз, Элиза, Амброзия, Онтарио, Санденс и Харальсон.

Заключение

Количество этилена в период созревания и хранения плодов яблони в основном связаны с аллельным состоянием генов Md-ACS1 и Md-ACO1. Наличие и сочетание в одном генотипе аллелей Md-ACS1-1 и Md-ACS1-2 является определяющим фактором различного уровня биосинтеза этилена в плодах и неодинаковой их лежкости при хранении.

Среди сортов яблони российской селекции гомозиготными по аллелю Md-ACS1-2 в среднем являются 2,33% генотипов осеннего и 6,52% зимнего срока созревания, гетерозиготными (Md-ACS1-1/2) - 13,95 и 29,35%, а гомозиготными по аллелю Md-ACS1-1 соответственно 83,72 и 64,13% генотипов. В генотипах яблони зарубежной селек-

ции частота встречаемости аллеля Md-ACS1-2 в гомозиготе у сортов осеннего срока созревания в 3,5 раза, зимнего срока созревания в 2,4 раза больше, чем у сортов отечественной селекции.

В селекционном процессе создания для Поволжья осенних сортов яблони в качестве исходных форм из генотипов российской селекции представляет интерес использование сорта Василиса, а из генотипов зарубежной селекции – сортов Аканэ, Ребелла, Зестар, Райка, Роял Гала. При выведении новых генотипов яблони зимнего срока созревания гомозиготных по аллелю Md-ACS1-2 в качестве исходных форм отечественной селекции целесообразно применять сорта Азимут, Апорт АСС, Любава, Прикубанское, Щит и Георгия, а из генотипов зарубежной селекции - сорта Рубин, Никотер, Глостер, Милва (Джунами), Рубинстеп, Топаз, Элиза, Амброзия, Онтарио, Санденс и Харальсон.

Библиографический список

1. Дулов, М. И. Биохимический состав и производство яблок в странах мира / М. И. Дулов // Наукосфера. – 2022. – № 2-1. – С. 90-96.
2. Polyphenol oxidase activity and

antioxidant properties of Yomra apple (*Malus communis* L.) from Turkey / Z. Can, B. Dincer, J. Sahin [et al.] // *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*. – 2014. – Vol. 29. – P. 829-835.

3. *Malus domestica*: A Review on Nutritional Features, Chemical Composition, Traditional and Medicinal Value / J. Patocka, K. Bhardwaj, B. Klimova [et al.] // *Plants*. – 2020. – Vol. 9(11). – P.1408. - doi: 10.3390/plants9111408.

4. Дулов, М. И. Уборка урожая, хранение и переработка плодов яблони / М. И. Дулов // *Традиции и инновации в современной науке и образовании: теория и передовая практика*. – Петрозаводск : Международный центр научного партнерства Новая Наука, 2021. – С. 235-252.

5. Садоводство в Среднем Поволжье / А. Н. Минин, А. А. Кузнецов, М. И. Антипенко [и др.]. – Самара : ООО Слово, 2021. – 635 с. – ISBN 978-5-6047579-5-6.

6. Apple (*Malus domestica*) MdERF2 negatively affects ethylene biosynthesis during fruit ripening by suppressing MdACS1 transcription / T. Li, Z. Jiang, L. Zhang [et al.] // *Plant J*. – 2016. – Vol. 88(5). – P. 735-748.

7. Дулов, М. И. Полиморфизм генов биосинтеза этилена Md-ACS1 и Md-ACO1 у сортов яблони отечественной и зарубежной селекции осеннего срока созревания плодов / М. И. Дулов // *Инновационное развитие науки: фундаментальные и прикладные проблемы*. – Петрозаводск : Международный центр научного партнерства Новая Наука, 2023. – С. 38-60.

8. Zhu, Y. Md-ACS1 and Md-ACO1 genotyping of apple (*Malus × domestica* Borkh.) breeding parents and suitability for marker-assisted selection / Y. Zhu, B. H. Barritt // *Tree Genetics and Genomes*. - 2008. - Vol. 4. - P. 555-562.

9. Дулов, М. И. Состав аллелей генов, вовлеченных в контроль лежкости плодов осеннего срока созревания, среди сортов яблони зарубежной селекции / М. И. Дулов // *Наукофера*. – 2023. – № 3-2. – С. 150-158.

10. Role of the genes Md-ACO1 and Md-ACS1 in ethylene production and shelf life of apple (*Malus domestica* Borkh) / F. Costa, S. Stella, W. E. Van de Weg [et al.] // *Euphytica*. - 2005. - Vol. 141. - P. 181-190.

11. Савельев, Н. И. Генетический полиморфизм исходных форм яблони по аллелям генов длительной лежкости и качества плодов / Н. И. Савельев, И. Н. Шамшин, А. М. Кудрявцев // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. – 2014. – № 3. – С. 17-20.

12. Шамшин, И. Н. Оценка сортов яблони Свердловской селекционной станции садовод-

ства по генам биосинтеза этилена с использованием молекулярных маркеров / И. Н. Шамшин, Д. Д. Тележинский, А. В. Шлявас // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2020. – Т. 21, № 6. – С. 706-712.

13. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 864. Яблоня / И. Н. Шамшин, А. В. Шлявас, А. А. Трифонова, К. В. Борис // *Лежкость плодов и результаты анализа полиморфизма генов биосинтеза этилена Md-ACS1, Md-ACO1 и экспансина Md-EXP7 у сортов народной селекции из генетической коллекции яблони научно-производственной базы Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР*. - 2018. - 25 с.

14. Influence of Md-ACS1 allelotype and harvest season within an apple germplasm collection on fruit softening during cold air storage / N. C. Oraguzie, R. K. Volz, C. J. Whitworth [et al.] // *Postharvest Biology and Technology*. – 2007. – Vol. 44. – P. 212-219.

15. An allele of the 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase gene (Md-ACS1) accounts for the low level of ethylene production in climacteric fruits of some apple cultivars / T. Harada, T. Sunako, Y. Wakasa [et al.] // *Theoretical and Applied Genetics*. – 2000. – Vol. 101. – P. 742-746.

16. Супрун, И. И. Изучение аллельного разнообразия генов синтеза этилена MD-ACS1 и MD-ACO1 в отечественной генплазме яблони / И. И. Супрун, С. В. Токмаков // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2013. – Т. 17, № 2. – С. 298-302.

17. Distribution of MdACS3 null alleles in apple (*Malus × domestica* Borkh.) and its relevance to the fruit ripening characters / S. Bai, A. Wang, M. Igarashi [et al.] // *Breeding Science*. – 2012. – Vol. 62(1). – P. 46-52.

18. Сохранность плодов яблока/биосинтез этилена // *RosBREED*. - URL: <https://www.rosbreed.org/node/406>. (Дата обращения 15.05.2023).

19. DNA marker-assisted evaluation of fruit firmness at harvest and post-harvest fruit softening in a diverse apple germplasm / H. Nybom, M. Ahmadi-Afzadi, J. Sehic, M. Hertog // *Tree Genetics & Genomes*. – 2012. – Vol. 9. – P. 279-290.

20. Lundmark, J. Genotyping ethylene production genes Md-ACS1 and MdACO1 for marker-assisted selection in apple / J. Lundmark // *SLU, Swedish University of Agricultural Sciences*. – Alnarp, 2019. – 27 p.

21. Ульяновская, Е. В. Изучение биоразнообразия и формирование идентифицированных коллекций рода *Malus* Mill. для ускоренного создания сортов с долговременной устойчи-

востью к *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter // Российский научный фонд. - URL: <https://rscf.ru/project/22-26-20101>. (Дата обращения 15.05.2023).

22. Ethylene and expansin biosynthesis related genes polymorphism in local apple (*Malus*

domestica Borkh.) cultivars from VIR Collection of plant genetic resources / I. N. Shamshin, A. V. Shlyavas, A. A. Trifonova [et al.] // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. – 2018. – Vol. 22, No 6. – P. 660-666.

FREQUENCY OF ALLELES OF THE GENES INVOLVED IN ETHYLENE BIOSYNTHESIS AND FRUIT STORABILITY OF APPLE VARIETIES OF RUSSIAN AND FOREIGN BREEDING

Dulov M.I.

State Budgetary Institution of Samara Region "Research Institute of Horticulture and Medical Plants" Zhigulevskie Sady " 443072, Samara region, Samara, settlement of gardening experimental station, 18 km; tel. 89179549450, e-mail: dulov-tehfak@mail.ru

Keywords: apple tree, variety, fruit storage, ethylene biosynthesis, gene alleles, Md-ACS1, Md-ACO1, homozygosity.

The article analyzes the established allelic state of Md-ACS1 gene among 178 apple varieties of Russian selection and 335 varieties of foreign selection, as well as alleles of Md-ACO1 gene among 169 genotypes of domestic and 235 genotypes of foreign selection. The aim of the study is to determine the occurrence frequency of alleles of ethylene biosynthesis genes in the most common apple varieties in the world, to provide breeders with information on genotypes that have the homozygous Md-ACS1-2 allele and are distinguished by better fruit keeping quality during storage. Among the apple varieties of Russian breeding, homozygous for Md-ACS1-2 allele, there are, on average, 2.33% of the genotypes of the autumn and 6.52% of the winter ripening period, heterozygous (Md-ACS1-1/2) - 13.95 and 29.35%, whereas, homozygous for Md-ACS1-1 allele are 83.72 and 64.13% of genotypes, respectively. As far as apple genotypes of foreign selection is concerned, the occurrence frequency of Md-ACS1-2 allele in the homozygote of autumn ripening varieties is 3.5 times, winter ripening - 2.4 times higher than in varieties of domestic selection. When creating autumn varieties for the Volga region, such varieties as Vasilisa, Akane, Rebella, Zestar, Rayka, Royal Gala are of interest as initial forms. When breeding new genotypes of winter-ripening apple trees homozygous for Md-ACS1-2 allele, it is advisable to use varieties Azimut, Aport ASS, Lyubava, Prikubanskoye, Shchit and Georgia as initial forms of domestic breeding, varieties of foreign breeding - Rubin, Nicoter, Gloster, Milva, Rubinstep, Topaz, Eliza, Ambrosia, Ontario, Sundance and Haralson.

Bibliography:

1. Dulov, M. I. Biochemical composition and production of apples in the countries of the world / M. I. Dulov // Naukosphere. - 2022. - № 2-1. - P. 90-96.
2. Polyphenol oxidase activity and antioxidant properties of Yomra apple (*Malus communis* L.) from Turkey / Z. Can, B. Dincer, J. Sahin [et al.] // Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry. - 2014. - Vol. 29. - P. 829-835.
3. *Malus domestica*: A Review on Nutritional Features, Chemical Composition, Traditional and Medicinal Value / J. Patocka, K. Bhardwaj, B. Klimova [et al.] // Plants. - 2020. - Vol. 9(11). - P.1408. - doi: 10.3390/plants9111408.
4. Dulov, M. I. Harvesting, storage and processing of apple fruits / M. I. Dulov // Traditions and innovations in modern science and education: theory and advanced practice. - Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership New Science, 2021. - P. 235-252.
5. Horticulture in the Middle Volga / A. N. Minin, A. A. Kuznetsov, M. I. Antipenko [and others]. - Samara: OOO Slovo, 2021. - 635 p. – ISBN 978-5-6047579-5-6.
6. Apple (*Malus domestica*) MdERF2 negatively affects ethylene biosynthesis during fruit ripening by suppressing MdACS1 transcription / T. Li, Z. Jiang, L. Zhang [et al.] // Plant J. - 2016. - Vol. 88(5). - P. 735-748.
7. Dulov, M. I. Polymorphism of ethylene biosynthesis genes Md-ACS1 and Md-ACO1 in domestic and foreign apple varieties of autumn fruit ripening / M. I. Dulov // Innovative development of science: fundamental and applied problems. - Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership New Science, 2023. - P. 38-60.
8. Zhu, Y. Md-ACS1 and Md-ACO1 genotyping of apple (*Malus × domestica* Borkh.) breeding parents and suitability for marker-assisted selection / Y. Zhu, B. H. Barritt // Tree Genetics and Genomes. - 2008. - Vol. 4. - P. 555-562.
9. Dulov, M. I. The composition of alleles of genes involved in the control of the storability of fruits of the autumn ripening period among apple varieties of foreign selection / M. I. Dulov // Naukosphere. - 2023. - № 3-2. - P. 150-158.
10. Role of the genes Md-ACO1 and Md-ACS1 in ethylene production and shelf life of apple (*Malus domestica* Borkh) / F. Costa, S. Stella, W. E. Van de Weg [et al.] // Euphytica. - 2005. - Vol. 141. - P. 181-190.
11. Saveliev, N. I. Genetic polymorphism of the initial forms of the apple tree by alleles of the genes for long-term storability and fruit quality / N. I. Saveliev, I. N. Shamshin, A. M. Kudryavtsev // Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. - 2014. - № 3. - P. 17-20.
12. Shamshin, I. N. Evaluation of apple varieties of Sverdlovsk horticultural breeding station by ethylene biosynthesis genes using molecular markers / I. N. Shamshin, D. D. Telezhinsky, A. V. Shlyavas // Agrarian science of the Euro-North-East. - 2020. - V. 21, № 6. - P. 706-712.
13. Catalog of the world collection of VIR. Issue 864. Apple tree / I. N. Shamshin, A. V. Shlyavas, A. A. Trifonova, K. V. Boris // Fruit keeping quality and results of the analysis of polymorphism of ethylene biosynthesis genes Md-ACS1, Md-ACO1 and expansin Md-EXP7 in varieties of folk selection from the genetic collection of apple trees of the research and production base of Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR. - 2018. - 25 p.
14. Influence of Md-ACS1 allelotype and harvest season within an apple germplasm collection on fruit softening during cold air storage / N. C. Oraguzie, R. K. Volz, C. J. Whitworth [et al.] // Postharvest Biology and Technology. - 2007. - Vol. 44. - P. 212-219.
15. T. Harada, T. Sunako, Y. Wakasa [et al.] // Theoretical and Applied Genetics. - 2000. - Vol. 101. - P. 742-746.
16. Suprun, I. I. Study of the allelic diversity of ethylene synthesis genes MD-ACS1 and MD-ACO1 in domestic apple geneplasm / I. I. Suprun, S. V. Tokmakov // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. - 2013. - V. 17, № 2. - P. 298-302.
17. Distribution of MdACS3 null alleles in apple (*Malus × domestica* Borkh.) and its relevance to the fruit ripening characters / S. Bai, A. Wang, M. Igarashi [et al.] // Breeding Science. - 2012. - Vol. 62(1). - P. 46-52.
18. Preservation of apple fruits/ethylene biosynthesis // RosBREED. - URL: <https://www.rosbreed.org/node/406>. (Access date: 15.05.2023).
19. DNA marker-assisted evaluation of fruit firmness at harvest and post-harvest fruit softening in a diverse apple germplasm / H. Nybom, M. Ahmadi-Afzadi, J. Sehic, M. Hertog // Tree Genetics & Genomes. - 2012. - Vol. 9. - P. 279-290.
20. Lundmark, J. Genotyping ethylene production genes Md-ACS1 and MdACO1 for marker-assisted selection in apple / J. Lundmark // SLU, Swedish University of Agricultural Sciences. - Alnarp, 2019. - 27 p.
21. Ulyanovskaya, E. V. Study of biodiversity and formation of identified collections of *Malus* Mill. genus for accelerated development of varieties with long-term resistance to *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter // Russian Scientific Fund. - URL: <https://rscf.ru/project/22-26-20101>. (Access date: 15.05.2023).
22. Ethylene and expansin biosynthesis related genes polymorphism in local apple (*Malus domestica* Borkh.) cultivars from VIR Collection of plant genetic resources / I. N. Shamshin, A. V. Shlyavas, A. A. Trifonova [et al.] // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. – 2018. – Vol. 22, No 6. – P. 660-666.