

УДК 634.11:631.563:631.526.32

**ВЛИЯНИЕ РАЗДЕЛЬНОГО
И СОВМЕСТНОГО ХРАНЕНИЯ
ПЛОДОВ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ
ЯБЛОНИ В МОДИФИЦИРОВАННОЙ
И РЕГУЛИРУЕМОЙ АТМОСФЕРАХ
НА ПОРАЖАЕМОСТЬ ИХ ЗАГАРОМ**

Гудковский Владимир Александрович
д-р с.-х. наук, академик РАН

Кожина Людмила Владимировна
канд. с.-х. наук

Назаров Юрий Борисович
канд. с.-х. наук

*Федеральное государственное
бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-
исследовательский институт
садоводства имени И.В. Мичурина»
Мичуринск, Россия*

Целью исследования было изучение восприимчивости к загару плодов различных по устойчивости к заболеванию сортов яблони при их раздельном и совместном хранении в ОА, МА и РА с обработкой 1-МЦП и без нее, выявление объективных биохимических показателей прогноза развития загара. Объекты исследований – плоды сортов яблони Мартовское, Богатырь, Жигулевское и др.. Рассматриваемые сорта отличаются по степени восприимчивости к загару. Биохимические исследования выполнены в лаборатории отдела послеуборочных технологий ВНИИС. Изучение влияния совместного и раздельного хранения плодов различных по восприимчивости к загару сортов на их устойчивость к заболеванию в условиях ОА и РА было также проведено в базовых хозяйствах института. Установлено влияние совместного хранения в ОА, МА, РА плодов различных сортов яблони на развитие загара. В условиях

UDC 634.11:631.563:631.526.32

**IMPACT OF SEPARATE AND JOINT
STORAGE OF APPLE FRUITS
OF DIFFERENT VARIETIES
IN THE MODIFIED
AND CONTROLLED ATMOSPHERES
ON THEIR SCALD SUSCEPTIBILITY**

Gudkovsky Vladimir
Dr. Sci. Agr., Academician of RAS

Kozhina Ludmila
Cand. Agr. Sci.

Nazarov Yuriy
Cand. Agr. Sci.

*Federal State Budget
Scientific Institution
«I.V. Michurin All-Russia
Research Institute
for Horticulture»,
Michurinsk, Russia*

Research purpose was studying of susceptibility to suntan of fruits of apple varieties various on resistance to a disease when their separate and joint storage in UA, MA and RA with 1-MMP processing and without one, the identification of objective biochemical indicators of the forecast of suntan development. Objects of research are the apple – fruits of Martovskoe, Bogatyr, Zhigulevskoe and others. The considered varieties differ on susceptibility degree to suntan. Biochemical research are carried out in the laboratory of Institute department of the postharvest technologies. Studying of influence of joint and separate storage of fruits with various susceptibility to suntan on their resistance to a disease under the conditions of OA and RA was carried out also in the basic farms of Institute. The influence of joint storage in OA, MA, RA of fruits of various apple-tree varieties on suntan development is established. Under the conditions

ограниченного внешнего воздухообмена (МА, РА) избыточное накопление летучих соединений, в том числе α -фарнезена, стимулирует развитие загара плодов. Более высокой интенсивностью биосинтеза малолетучих соединений (в том числе α -фарнезена), отличаются восприимчивые сорта, которые инициируют загар как у самих себя, так и у плодов других сортов при совместном хранении. Отмечено, что перспективным направлением дальнейших исследований является изучение влияния содержания летучих соединений (в том числе α -фарнезена) не только в плодах, но и в атмосфере хранения на развитие физиологических заболеваний (в том числе загара) плодов яблони и разработка методов удаления летучих соединений до безопасных концентраций.

Ключевые слова: ЗАГАР, СОРТ, ОБЫЧНАЯ, МОДИФИЦИРОВАННАЯ, РЕГУЛИРУЕМАЯ АТМОСФЕРА, ПРОДУКТЫ ОКИСЛЕНИЯ

of limited external air exchange (MA, RA) the excess accumulation of volatile compounds, including α -farnezen, stimulates the development of fruits suntan. The susceptible varieties, which initiate a suntan both at themselves, and at fruits of other varieties at joint storage, differ in higher intensity of biosynthesis of low-volatile compounds including α -farnezen. It is noted that the perspective direction of further research is studying of influence of the content of volatile compounds (including α -farnezen) not only in the fruits, but also in the atmosphere of storage, on development of physiological diseases (including suntan) of apple fruits and development of methods for removal of volatile compounds until the safe concentrations.

Key words: SCALD, VARIETY, NORMAL, MODIFIED AND CONTROLLED ATMOSPHERE, OXIDATION PRODUCTS

Введение. В мировой практике основным физиологическим заболеванием плодов яблони при хранении является загар. Плоды более 70% сортов, выращиваемых в России, восприимчивы к этому заболеванию, потери от которого могут достигать 90% и более, что приносит огромный экономический ущерб [1]. Исследования по изучению механизмов развития загара, проведенные во многих научных центрах, указывают на связь развития заболевания с накоплением в кутикуле кожицы плодов продуктов окисления α -фарнезена – конъюгированных триенов (КТ₂₈₁), фенольных соединений, с содержанием эндогенного и экзогенного этилена [1-11].

Важная роль в защите плодов от загара отводится антиоксидантам [4,5,6,12], поэтому многие годы для борьбы с этим заболеванием использовали послеуборочную обработку плодов дифениламином (ДФА), обладающим антиоксидантным действием [10,12,13]. В последний период в

мировой практике широко используется ингибитор этилена 1-метилциклопропен (1-МЦП), который во многом решил проблему сохранения качества плодов и снижения потерь от загара [2-5,7,12-15]. Однако, в связи с природно-климатическими условиями промышленных зон садоводства России, сортовыми особенностями и многочисленными случаями совместного хранения (в одной камере) партий плодов различных сортов или одного сорта, существенно различающихся по физиологическим показателям, поражение плодов загаром может увеличиться, что резко снижает качество плодов и цену их реализации.

В связи с этим целью нашего исследования было изучение восприимчивости к загару плодов различных по устойчивости к заболеванию сортов яблони при их отдельном и совместном хранении в ОА, МА и РА с обработкой 1-МЦП и без нее, выявление объективных биохимических показателей прогноза развития загара.

Объекты и методы исследований. Исследования выполнены в 2013-2015 гг. Объекты исследований – плоды сортов яблони: Мартовское, Богатырь, Жигулевское и др.. Рассматриваемые сорта отличаются по степени восприимчивости к загару: Мартовское – высокая, Богатырь – средняя, Жигулевское – низкая. Съём плодов проводили в насаждениях ФГБНУ ВНИИС им. И.В. Мичурина при содержании эндогенного этилена 0,8-1,5 ppm. Температура хранения плодов Мартовское, Богатырь -4°C, Жигулевское -2 °C. Биохимические исследования выполнены в лаборатории отдела послеуборочных технологий ВНИИС. Содержание эндогенного и экзогенного этилена определяли газохроматографически (GC-2014, SHIMADZU, Япония) [16], α-фарнезена и продуктов его окисления (КТ₂₈₁) – спектрофотометрически (СФ-201, Россия) [17], твердость плодов измеряли пенетрометром FT-327 с плунжером для яблок. Степень поражения плодов загаром определяли визуально.

Часть плодов в день съема обрабатывали ингибитором этилена 1-МЦП по разработанной во ВНИИС им. И.В. Мичурина технологии. Контрольные и обработанные плоды закладывали на хранение в камеру с ОА и МА по схеме, представленной в табл. 1. Для создания МА использовали пакеты Xtend израильской фирмы «StePas».

Таблица 1 – Схема опытов

№	Вариант
Опыт 1. Влияние условий хранения, обработки 1-МЦП на восприимчивость к загару плодов сортов Мартовское и Богатырь	
Раздельное хранение сортов	
1	ОА, контроль, Мартовское
2	ОА, 1-МЦП, Мартовское
3	МА, контроль, Мартовское
4	МА, 1-МЦП, Мартовское
5	ОА, контроль, Богатырь
6	ОА, 1-МЦП, Богатырь
7	МА, контроль, Богатырь
8	МА, 1-МЦП, Богатырь
Совместное хранение сортов (Мартовское + Богатырь)	
9	МА, совместное хранение, контроль, (Мартовское + Богатырь, 0,5/0,5)
10	МА, совместное хранение, 1-МЦП, (Мартовское + Богатырь, 0,5/0,5)
11	МА, совместное хранение, контроль (Мартовское + Богатырь, 0,25/0,25)+1-МЦП (Мартовское + Богатырь, 0,25/0,25)
Опыт 2. Влияние условий хранения, обработки 1-МЦП, на восприимчивость к загару плодов сорта Жигулевское	
1	ОА, контроль, Жигулевское
2	ОА, 1-МЦП, Жигулевское
3	МА, контроль, Жигулевское
4	МА, 1-МЦП, Жигулевское
5	МА, совместное хранение, контроль +1-МЦП, Жигулевское

Изучение влияния совместного и раздельного хранения плодов различных по восприимчивости к загару сортов на их устойчивость к заболеванию в условиях ОА и РА было также проведено в базовых хозяйствах

института (ОАО «Сад Гигант» Краснодарского края, ОАО «Дубовое» Тамбовской области, ЗАО Агрофирма «15 лет Октября» Липецкой области, «Сады Баксана» Кабардино–Балкарской республики).

Потери от загара и степень поражения плодов оценивали через 3 и 6 месяцев хранения и дополнительно через 1 и 7 дней после снятия с хранения при +20°C (имитация условий доведения плодов до потребителя) в соответствии с ГОСТ 21122-75.

Обсуждение результатов. Опыт № 1. ОА, контроль. Через 3 месяца хранения контрольные плоды сортов Мартовское и Богатырь в условиях ОА отличались наиболее низким качеством, по сравнению с другими вариантами, что проявлялось в пониженных показателях твердости мякоти плодов – 4,6 и 5,0 кг/см² соответственно, и высоких потерях от загара плодов сорта Мартовское (рис. 1, 2, табл. 2).



Рис. 1. Влияние условий хранения, обработки 1-МЦП на развитие загара плодов сорта Мартовское через 3 месяца хранения +7 дней в комнатных условиях



Рис. 2. Влияние условий хранения, обработки 1-МЦП на развитие загара плодов сорта Богатырь через 3 месяца хранения +7 дней в комнатных условиях

В условиях ОА плоды сорта Мартовское (контроль) отличались высокой скоростью созревания и старения, что проявилось в максимальном накоплении эндогенного этилена, высоком содержании $КТ_{281}$. Через 3 месяца хранения содержание указанных показателей составило 1000,6 ppm и $22,7 \text{ нмоль/см}^2$ соответственно, потери от загара достигали 68%, после 7 суток хранения в комнатных условиях – 100 %, площадь поражения – не более 1/6 поверхности плода (рис. 3). Содержание экзогенного этилена в камере хранения не превышало 1,6 ppm при активной вентиляции.

Плоды сорта Богатырь (контроль), отличающиеся более низкой восприимчивостью к загару, при хранении в ОА имели максимальный для сорта (в данном опыте) уровень содержания эндогенного этилена – 512,8 ppm, но низкий уровень содержания $КТ_{281}$ – через 3 месяца $2,3 \text{ нмоль/см}^2$ (загар – 0%), через 6 месяцев содержание $КТ_{281}$ увеличилось до $7,6 \text{ нмоль/см}^2$, потери от загара составили 2,4, а через 7 дней хранения в комнатных условиях – 16,7%.

Таблица 2 – Влияние способа и срока хранения, послеуборочной обработки 1-МЦП на биохимические показатели и качество плодов яблони сортов Мартовское и Богатырь

Вариант		Срок хранения, мес.	Твердость, кг/см ²	Этилен, ppm	Фар-незен	КТ ₂₈₁	Загар, % (* - степень поражения)		
Способ хранения	Обработка 1-МЦП				нмоль/см ²		в камере	ч/з 1 сут.	ч/з 7 сут.
Мартовское									
1. ОА	контроль	3	4,6	1006,2	42,1	22,7	68*	100*	100***
		6	4,2	525,4	34,0	14,8	88**	88**	100**
2. ОА	1-МЦП	3	8,4	110,6	93,1	4,3	0	0	0
		6	6,2	580,8	45,7	6,4	0	0	33,3 _{сл}
3. МА	контроль	3	5,9	338,2	40,5	56,0	100*	100***	100***
		6	5,6	460,2	21,0	17,1	70***	70***	100***
4. МА	1-МЦП	3	9,2	5,3	77,7	23,6	8,9*	90 _{сл}	90 _{сл}
		6	8,6	120,7	31,6	38,4	91**	91**	100***
Богатырь									
5. ОА	контроль	3	5,0	512,8	53,9	2,3	0	0	0
		6	5,1	284,9	41,8	7,6	2,4*	2,4	16,7*
6. ОА	1-МЦП	3	7,4	66,1	45,9	1,3	0	0	0
		6	6,7	301,1	47,3	2,8	0	0	0
7. МА	контроль	3	5,4	277,6	60,6	6,4	0	0	0
		6	4,6	227,6	36,3	11,4	34*	34*	35**
8. МА	1-МЦП	3	8,5	8,2	18,2	0,8	0	0	0
		6	7,2	114,1	49,5	3,3	0	0	0
Смесь сортов (Мартовское+Богатырь)									
9. МА смесь	Мартовское контроль +	3	6,3	480,0	41,0	46,8	100*	100**	100***
		6	4,9	273,4	23,5	23,1	88***	88***	100***
	+ Богатырь контроль	3	4,9	435,8	41,3	25,9	82*	100*	100**
		6	5,1	218,1	20,4	26,5	82**	82**	100**
10. МА смесь	Мартовское 1-МЦП +	3	10,0	24,2	83,5	14,5	0	20 _{сл}	20,0 _{сл}
		6	8,8	319,8	42,9	31,5	85**	85**	85**
	+ Богатырь 1-МЦП	3	8,3	14,6	42,2	1,5	0	0	0
		6	7,1	135,1	42,7	16,0	17*	17*	100*
11. МА смесь	Мартовское контроль +	3	5,9	137,5	27,4	32,4	89*	100**	100**
		6	5,2	475,7	21,9	16,3	82***	82***	100***
	+Богатырь контроль	3	6,9	211,2	46,0	7,6	0	0	0
		6	5,2	467,3	31,2	16,3	71*	71*	100*
	+ Мартовское 1-МЦП+	3	10,2	7,1	55,7	19,5	7,7*	0	40,0 _{сл}
		6	9,2	137,3	21,9	27,4	65*	65*	86*
+Богатырь 1-МЦП	3	8,1	5,02	18,5	2,5	0	0	0	
	6	7,6	124,4	47,7	4,1	0	0	0	

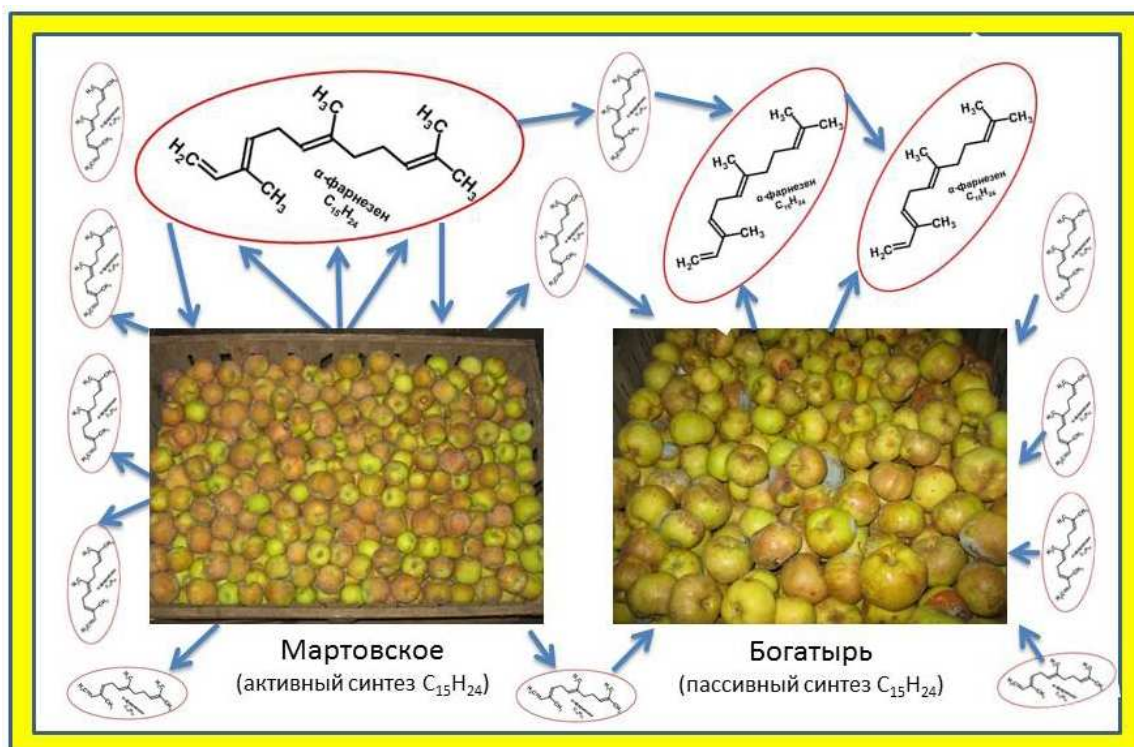


Рис. 3. Влияние совместного хранения сильновосприимчивого сорта Мартовское и слабовосприимчивого сорта Богатырь в условиях ограниченного воздухообмена (камерах МА, РА) на особенность развития загара

Известно, что содержание этилена в плодах всех сортов увеличивается по мере их созревания, накопление гормона инициирует биосинтез α-фарнезена и естественных антиоксидантов [4,10], при этом сорта плодов существенно отличаются по физиологическим и биохимическим параметрам и, соответственно, по восприимчивости к заболеваниям.

ОА + 1-МЦП. Обработанные 1-МЦП плоды сортов Мартовское и Богатырь после 3 месяцев хранения в ОА отличались хорошим качеством и устойчивостью к загару (см. рис. 1, 2). Физиологическое действие обработки плодов 1-МЦП в условиях ОА проявилось в интенсивном ингибировании накопления эндогенного этилена (в 8-9 раз) и продуктов окисления (KT_{281}), по сравнению с контролем. В плодах сорта Мартовское содержание эндогенного этилена составило через 3 и 6 месяцев хранения 110,6 и 580,8 ppm, KT_{281} – 4,3 и 6,4 нмоль/см² соответственно; сорта Богатырь –

66,1 и 301,1 ppm и 1,3 и 2,8 нмоль/см² соответственно, что исключило развитие загара на плодах сорта Мартовское в течение 3 месяцев хранения, через 6 месяцев хранения +7 дней в комнатных условиях появились плоды (33 %) в слабой степени пораженные загаром.

Устойчивость к заболеванию плодов сорта Богатырь сохранялась в течение 6 месяцев и 7 суток их нахождения в комнатных условиях. Заметное ингибирование процессов созревания плодов, достигнутое при обработке плодов 1-МЦП, обеспечило сохранение товарного качества плодов, что убедительно подтверждают данные по их твердости. Через 6 месяцев хранения у сортов Мартовское и Богатырь она составила 6,2 и 6,7 кг/см² (контроль – 4,2 и 5,0 кг/см², соответственно).

Приведенные данные убедительно подтверждают, что обработка 1-МЦП ингибирует биосинтез эндогенного этилена, сдерживает накопление КТ₂₈₁ и обеспечивает снижение потерь от загара, однако *генотип сорта определяет эффективность защиты от заболевания*.

В нашем опыте обработка 1-МЦП обеспечила защиту от загара плодов сорта Богатырь в течение всего периода хранения, а в партии плодов сорта Мартовское, с высокой восприимчивостью к заболеванию, достигнуто лишь резкое снижение потерь от загара, по сравнению с вариантом ОА-контроль (33,3 и 100% соответственно).

МА, контроль. Жизнедеятельность плодов в условиях МА (полиэтиленовый пакет) происходит в условиях измененного состава атмосферы, который, в свою очередь, оказывает серьезное влияние на формирование восприимчивости плодов к загару. Отличительными особенностями хранения не обработанных плодов в МА, по сравнению с ОА, являются ранние сроки (через 3 месяца хранения) максимально высокого уровня поражения плодов загаром (100 %) восприимчивого сорта Мартовское и появление заболевания у менее восприимчивого сорта Богатырь (6 месяцев хранения) (см. рис.1, 2).

По данным многолетних исследований установлено, что условия МА стимулируют развитие загара у плодов различных сортов яблони. Это связано с ограниченным внешним воздухообменом и исключением возможности отвода летучих соединений, влияющих на развитие загара; повышенным содержанием CO_2 , сдерживающим биосинтез этилена, естественных антиоксидантов, способных инактивировать окисление α -фарнезена и накопление триенов; повышенным содержанием кислорода, активирующим реакции свободно-радикального окисления, накопления KT_{281} и развития загара у плодов.

В результате проведенных исследований было установлено, что при хранении контрольных плодов сорта Мартовское в МА, концентрация CO_2 составляла 4,5%, O_2 – 17,5-18,3%, что, вероятно, сдерживало биосинтез этилена: эндогенное содержание гормона в плодах было почти в 3 раза ниже, чем в ОА (338 и 1006,1 ppm соответственно). Однако в атмосфере упаковки в условиях ограниченного воздухообмена содержание экзогенного этилена (возможно и других летучих соединений) повысилось до 246 ppm, в ОА – составляло не более 1,6 ppm.

Известно, что KT_{281} является продуктом окисления α -фарнезена, а его накопление вызывает побурение кожицы плодов [4,6,7,9,11]. Установлено, что в условиях МА содержание конъюгированных триенов в кутикуле кожицы плодов сорта Мартовское через 3 месяца хранения было в 2,5 раза выше, чем при хранении в ОА, и составило максимально высокое значение в этом опыте – 56 нмоль/см². Потери от заболевания составили 100% (слабая степень поражения), а через сутки хранения в комнатных условиях плоды стали темно-бурыми (степень поражения высокая) (см. рис. 3).

При хранении (3 месяца) контрольных плодов сорта Богатырь в МА содержание CO_2 соответствовало 3,1%, экзогенного этилена – 44,3 ppm, а кумуляция эндогенного этилена была в 1,5 раза ниже, чем в ОА, составляя 277,6 и 512,8 ppm соответственно, при невысоком накоплении KT_{281} – 6,4 и

2,3 нмоль/см² соответственно. Лишь после продолжительного хранения (6 месяцев) содержание КТ₂₈₁ в условиях МА достигло уровня 11,4 нмоль/см², что оказалось достаточным для появления загара – 35% в слабой степени, в ОА – потери составляли 2,4%.

Бесспорно, что генотип сорта определяет восприимчивость плодов к загару, однако по литературным данным и результатам наших исследований считается, что основным инициатором развития загара является эндогенный этилен. Согласно полученным данным, содержание эндогенного этилена в плодах сорта Мартовское и Богатырь, хранившихся в МА, было соответственно в 3 и 1,5 раза ниже, а экзогенного – в десятки раз выше, чем в ОА, при этом уровень потерь и степень поражения плодов загаром в МА всегда значительнее, чем в ОА. Эти данные указывают на то, что эндогенный этилен – не единственный фактор, определяющий развитие заболевания. *Очевидно, что в МА из-за ограниченного внешнего воздухообмена внутри упаковки, кроме контролируемого нами экзогенного этилена, накапливаются и другие летучие соединения, влияющие на развитие растения.*

Важность летучих соединений в развитии загара подтверждают и классические примеры из практики хранения плодов. Обеспечение активного внешнего воздухообмена в камерах с ОА резко снижает развитие заболевания за счет удаления из атмосферы хранения этилена и других летучих соединений, что подтверждает и данное исследование.

До использования ДФА и 1-МЦП активный воздухообмен был основным методом борьбы с загаром плодов. Еще одним аргументом, подтверждающим значимую роль в развитии загара соединений, накапливающихся в атмосфере и на поверхности плодов, является тот факт, что основным летучим компонентом (более 50%), выделяемым из кожицы плодов сорта Гренни Смит (отличающихся высокой восприимчивостью к загару), был α -фарнезен [8].

Известно, что при завертывании плодов в салфетки, пропитанные парфюмерным маслом, эффективно поглощающим летучие соединения, развитие этого заболевания резко сокращалось или исключалось. Нами было установлено, что в салфетках, пропитанных вазелиновым маслом, в которые были упакованы плоды сорта Мартовское, аккумулировался α -фарнезен (до 50 нмоль/см²), что однозначно доказывает реальность его выделения в окружающую атмосферу и, следовательно, возможность стимулирования загара, особенно в условиях ограниченного воздухообмена.

Вероятно, в МА повышение концентрации летучих соединений, в том числе α -фарнезена, в атмосфере и на поверхности плодов может катализировать накопление KT_{281} и развития загара. Несомненно, что в ОА значительная часть летучих соединений может удаляться из атмосферы и поверхности плодов за счет активной вентиляции, что снижает развитие этого расстройства.

Полученные выводы подтверждают реальные примеры: в застойных зонах камеры уровень поражения плодов загаром всегда выше, чем в зонах с нормальной циркуляцией воздуха.

При хранении плодов сорта Северный Синап в «условно герметичной» камере, где из-за ограниченного внешнего воздухообмена содержание основных компонентов среды составляло: $CO_2=2-4\%$, $O_2=17-19\%$, содержание экзогенного этилена варьировало от 40 до 200 ppm, через 4,5 месяца хранения содержание KT_{281} в плодах увеличилось до 34,96 нмоль/см², потери от загара средней степени составили 100%. При хранении плодов из этой партии в ОА с активной вентиляцией камеры, где содержание углекислого газа и кислорода соответствовало нормальному атмосферному, а содержание экзогенного этилена не превышало 5 ppm, продукты окисления (KT_{281}) в кутикуле кожицы накапливались незначительно (2,92 нмоль/см²), что исключало развитие загара.

МА+1-МЦП. В условиях МА послеуборочная обработка плодов 1-МЦП не обеспечила защиту от загара восприимчивого сорта Мартовское, однако гарантировала ее для плодов сорта Богатырь (рис. 3,4).

Показано, что обработка плодов сорта Мартовское 1-МЦП и хранение их в МА обеспечила эффективное ингибирование созревания как по сравнению с вариантами ОА+1-МЦП, так и по сравнению с МА (контроль), что обусловлено как воздействием препарата, так и повышенной концентрацией CO_2 в атмосфере. Так, содержание эндогенного этилена через 3 месяца хранения в плодах изучаемых вариантов составило 5,3, 110,6 и 338,2 ppm, а твердость плодов – 9,2, 8,4 и 5,9 кг/см² соответственно.

Следует отметить, что вариант МА+1-МЦП (Мартовское) наряду с низким содержанием эндогенного этилена – 5,3 ppm, отличался и низким содержанием экзогенного этилена – 8,3 ppm, что почти в 30 раз ниже, по сравнению с вариантом МА (контроль). Однако, накопление КТ_{281} в кожце плодов через 3 месяца было высоким (23,6 нмоль/см²), по сравнению с ОА+1-МЦП (4,3 нмоль/см²), что являлось причиной развития загара. Потери от заболевания составили: в упаковке – 8,9%, а через 1 сутки нахождения плодов в комнатных условиях – 90% (слабая степень), в ОА+1-МЦП загар отсутствовал. Через 6 месяцев хранения содержание эндогенного этилена увеличилось до 120,7 ppm, экзогенного – до 32 ppm, КТ_{281} – до 38,4 нмоль/см², потери от загара – до 91%, а спустя 7 дней хранения в комнатных условиях – 100% (сильная степень поражения).

Через 3 месяца хранения плодов сорта Богатырь в условиях МА+1-МЦП содержание эндогенного и экзогенного этилена (как и для сорта Мартовское), а также продуктов окисления фарнезена соответствовало низким значениям – 8,2; 3,7 ppm и 0,8 нмоль/см² соответственно, загар на плодах отсутствовал, через 6 месяцев хранения содержание показателей составляло: 114, 36 ppm и 3,3 нмоль/см² соответственно, при отсутствии плодов, пораженных загаром.

Таким образом, в условиях ограниченного воздухообмена обработанные 1-МЦП (как и контрольные) плоды при равнозначном уровне накопления эндогенного и экзогенного этилена проявляли как восприимчивость (сорт Мартовское), так и устойчивость к загару (сорт Богатырь).

Вероятно, как пониженный, так и повышенный эндогенный и экзогенный этилен не являются достаточными причинами для обеспечения устойчивости, либо проявления восприимчивости плодов к загару. Очевидно, что при прочих равных условиях, решающую роль в развитии загара играют особенности биохимических реакций, сопровождающих созревание, старение плодов и выделяемые при этом соединения. Скорее всего, важной причиной поражения обработанных 1-МЦП (как и контрольных) плодов сорта Мартовское загаром в условиях МА может быть способность восприимчивого к расстройству сорта синтезировать и выделять в атмосферу летучие соединения, катализирующие накопление KT_{281} и развитие заболевания. Вероятно, доля α -фарнезена к общему объему летучих веществ, синтезируемых плодами, выше у сорта Мартовское и ниже у сорта Богатырь, что может быть причиной высокой и низкой, соответственно, восприимчивости сортов к загару (см. рис. 3).

Следует отметить, что условия хранения, складывающиеся при ограниченном воздухообмене, отмеченные в варианте МА+контроль, увеличивают риски развития заболевания и в варианте МА+1-МЦП.

На основании полученных данных и результатов опытов предыдущих лет установлено, что при хранении в РА плодов, восприимчивых к загару сортов (Антоновка обыкновенная, Моргендуфт, Мартовское и др.), обработанных 1-МЦП, даже при сравнительно низком уровне эндогенного и экзогенного этилена, но ограниченном внешнем воздухообмене, усиливаются риски поражения плодов заболеванием. В то же время, плоды с низкой восприимчивостью к загару, предварительно обработанные

1-МЦП, очень эффективно хранить в МА и РА, так как не происходит кумуляции в атмосфере и на поверхности плодов соединений, приводящих к избыточному накоплению КТ₂₈₁ в кутикуле кожицы плодов и поражения их загаром. Эти выводы подтверждаются и практическими данными.

Обработанные 1-МЦП плоды сорта Моргендуфт (ЗАО «Сад Гигант») были заложены на хранение в «условно герметичную» камеру, где из-за ограниченного внешнего воздухообмена, даже при регулярном проветривании, содержание основных компонентов среды составляло: CO₂=2-3%, O₂=18-19%, содержание экзогенного этилена варьировало от 40 до 200 ppm, через 3,5 месяца хранения потери от загара достигли 70%. В условиях ОА с активным воздухообменом потери от заболевания отсутствовали.

Высокие потери от загара в «условно герметичной» камере обусловлены генотипическими особенностями плодов сорта Моргендуфт, которые проявляются, в том числе в высокой восприимчивости к загару, поэтому в условиях ограниченного воздухообмена доля α-фарнезена в общем объеме летучих веществ, выделяемых при созревании, а значит и концентрация в атмосфере и на поверхности плодов, могла быть значительной. Ранний съем урожая, связанный с преждевременным осыпанием, и, как следствие, – низкий антиокислительный потенциал плодов, повышенное содержание углекислого газа и кислорода, увеличили возможность проявления расстройства, по сравнению с ОА с активным воздухообменом.

Аналогичная закономерность прослеживается при закладке в камеру с ограниченным воздухообменом двух партий плодов сорта Ред Чив (ЗАО «Сад Гигант»), существенно отличающихся по силе роста однолетних побегов и, следовательно, по физиологическим (степени зрелости) и биохимическим (окраске) показателям.

Через 6,5 месяцев хранения в камере с РА (O₂-1,2-1,5%, CO₂-1,2-1,5%, этилен -12 ppm) обработанные 1-МЦП партии плодов существенно отличались по восприимчивости к загару (20 и 0 %).

Потери от заболевания в партии плодов, выращенных в интенсивных насаждениях с высокой силой роста побегов, объясняются тем, что из-за недостаточного освещения (загущенная крона) они не достигли характерной для сорта окраски, то есть имели низкое содержание защитных соединений фенольной группы (антиоксидантов). Вероятно, повышенное содержание экзогенного этилена и α -фарнезена в атмосфере камеры инициировало их поражение загаром. Плоды, выращенные в садах со сдержанным ростом побегов (хорошая освещенность кроны), имели полноценную окраску и высокий антиокислительный потенциал, что обеспечило их защиту от поражения загаром. В условиях ОА обработанные 1-МЦП партии плодов сорта Ред Чив сохраняют устойчивость к заболеванию.

МА, совместное хранение, контроль, (Мартовское + Богатырь) (соотношение контрольных плодов сортов Мартовское и Богатырь в упаковке – 50/50%). В этом варианте повреждение загаром плодов сорта Мартовское через 3 месяца хранения достигало 100%, однако степень поражения была заметно ниже, чем в варианте с монохранением этого сорта (МА+контроль) (см. рис. 1).

Плоды сорта Богатырь в этом варианте проявили максимальную восприимчивость к загару (по количеству и степени побурения), по сравнению с монохранением этого сорта (МА+контроль). Потери через 3 месяца хранения составляли 82 и 0% соответственно (см. рис. 2).

Содержание контролируемых экзогенных и эндогенных показателей при совместном и раздельном хранении в МА контрольных партий двух сортов яблони также существенно различалось.

Через 3 месяца совместного хранения плодов сорта Мартовское в МА содержание экзогенного этилена и CO_2 было ниже, чем при монохранении этого сорта, составляя 175 и 246 ppm, 4,1 и 4,5% соответственно. Содержание эндогенного этилена и твердость были несколько выше в ва-

рианте совместного хранения. Основной показатель, связанный с поражением плодов загаром – $КТ_{281}$, в очередной раз подтвердил свою объективность. Его содержание, как и степень развития загара, были ниже у плодов сорта Мартовское при совместном, чем при монохранении, составляя 46,8 и 56 нмоль/см² соответственно.

Вероятно, в рассмотренном варианте снижение восприимчивости к загару контрольных плодов сорта Мартовское связано с замещением в упаковке доли высоко восприимчивого к загару сорта на сорт с низкой восприимчивостью и, следовательно, снижением концентрации летучих соединений, вызывающих загар, в атмосфере хранения.

При совместном хранении плодов сорта Богатырь в МА, содержание экзогенного этилена и CO_2 в упаковке через 3 месяца было существенно выше (в отличие от сорта Мартовское), чем при монохранении этого сорта, составляя 175 и 44,3 ppm, 4,1 и 3,1% соответственно. При этом содержание эндогенного этилена было выше, а твердость несколько ниже, по сравнению с монохранением, концентрация $КТ_{281}$ в варианте совместного хранения достигла максимального (для этого сорта, в этом опыте) значения – 25,9 нмоль/см², по сравнению с 6,4 нмоль/см² в варианте МА, Богатырь (контроль), что объективно отражало фактические потери от загара – 82 и 0% соответственно.

Вероятно, в рассмотренном варианте увеличение восприимчивости к загару плодов сорта Богатырь, по сравнению с монохранением, связано с внешним (экзогенным) фактором – возрастанием концентрации в атмосфере упаковки летучих соединений, в том числе α -фарнезена, за счет плодов сорта Мартовское, являющегося активным источником синтеза этого соединения (см. рис. 3).

В результате проведенных исследований становится очевидным, что взаимное влияние на восприимчивость плодов двух сортов к загару может быть обусловлено лишь экзогенными факторами – летучими соединения-

ми, выделяемыми плодами, концентрация которых может усилить, либо ослабить проявление расстройства. Одним из таких соединений может быть α -фарнезен, который, как мы предполагаем, в большем количестве накапливался и выделялся плодами восприимчивого к загару сорта Мартовское (см. рис. 3). *Тогда снижение восприимчивости к загару плодов сорта Мартовское и увеличение – плодов сорта Богатырь при их совместном хранении (50/50) может быть объяснено снижением, либо повышением, соответственно, концентрации летучих соединений, в том числе α -фарнезена в атмосфере и на поверхности плодов, по сравнению с монохранением, что подтверждается содержанием продуктов окисления фарнезена (KT_{281}) и проявлением загара.*

Полученные данные подтверждают нецелесообразность совместного хранения плодов с высокой и низкой восприимчивостью к загару, особенно в условиях ограниченного воздухообмена (МА, РА).

МА, совместное хранение, 1-МЦП, (Мартовское + Богатырь) (соотношение обработанных 1-МЦП плодов сортов Мартовское и Богатырь в упаковках – 50/50%). Послеуборочная обработка 1-МЦП при совместном хранении в МА резко снизила потери, но не обеспечила защиту от загара плодов сортов Мартовское и Богатырь. При этом отмечено повышение потенциала устойчивости к загару плодов сорта Мартовское и его снижение – у плодов сорта Богатырь, по сравнению с монохранением аналогичных вариантов.

Так, через 3 месяца совместного хранения плодов сорта Мартовское потери от загара составили 0%, при монохранении – 8,9%, через 7 суток в комнатных условиях они увеличились до 20 и 90% соответственно. Через 6 месяцев совместного хранения плодов сорта Богатырь потери от заболевания составили 17 и 0 % соответственно, через 7 суток в комнатных условиях – 100 и 0% соответственно.

Через 3 месяца совместного хранения обработанных 1-МЦП плодов сорта Мартовское в МА содержание экзогенного этилена и CO_2 в упаковке было несколько ниже, чем при монохранении этого сорта, составляя 5,6 и 8,3 ppm и 2,4 и 4,3% соответственно. Содержание эндогенного этилена и твердость мякоти были несколько выше в варианте совместного хранения. Уровень КТ_{281} в 2^х-компонентном варианте был ниже, чем при монохранении – 14,5 и 23,6 нмоль/см² соответственно, что адекватно отражало фактические потери от загара – 0 и 8,9 %, через 7 дней в комнатных условиях – 20 и 90 % соответственно. Аналогичные данные были зафиксированы и через 6 месяцев хранения. *Вероятно, в рассмотренном варианте, снижение восприимчивости к загару обработанных 1-МЦП плодов сорта Мартовское (так же, как и в варианте совместного хранения контрольных плодов) связано со снижением концентрации летучих соединений в атмосфере хранения, способных инициировать загар плодов, которое обусловлено уменьшением доли плодов сорта Мартовское, являющегося главным источником их биосинтеза.*

Через 3 месяца совместного хранения обработанных 1-МЦП плодов сорта Богатырь в МА содержание экзогенного этилена и CO_2 в упаковке соответствовало низкому уровню, показатели отличались незначительно, по сравнению с монохранением этого сорта – 5,6 и 3,7 ppm, 2,4 и 3,2 % соответственно. Содержание эндогенного этилена составляло 14,6 и 5,3 ppm, твердость мякоти 8,3 и 9,2 кг/см² соответственно, что отражало высокое качество плодов. Низкие уровни содержания КТ_{281} в плодах изучаемых вариантов (1,5 и 0,8 нмоль/см²) гарантировали устойчивость к загару.

После продолжительного хранения (6 месяцев) существенно изменилось содержание экзогенных и эндогенных показателей при совместном и монохранении плодов. Резкое увеличение содержания эндогенного этилена при совместном хранении в упаковке – до 135,1 ppm и высокий уровень накопления КТ_{281} – 16,0 нмоль/см² вызвали поражение плодов сорта Бога-

тырь загаром – 17%, через 7 дней в комнатных условиях потери составили 100% (степень поражения – слабая). В то же время в варианте с отдельным хранением содержание KT_{281} не превышало $3,3 \text{ нмоль/см}^2$, плоды проявляли устойчивость к заболеванию. *Вероятно, повышение восприимчивости к загару обработанных (как и не обработанных) 1-МЦП плодов сорта Богатырь в основном связано с повышением в атмосфере упаковки и, как следствие, в кожице плодов концентрации летучих соединений, в том числе α -фарнезена, активно синтезируемых плодами сорта Мартовское.*

Результаты проведенных исследований подтверждают, что при совместном хранении обработанных 1-МЦП (как и не обработанных) плодов сортов с высокой и низкой восприимчивостью к загару степень поражения плодов с высокой восприимчивостью к загару снижается, а плодов с низкой – повышается, что коррелирует с уровнем содержания KT_{281} в кутикуле кожицы плодов, зависит от концентрации летучих соединений, в том числе этилена и α -фарнезена в атмосфере (см.рис. 1,2).

Полученные закономерности подтверждаются данными как во всех рассматриваемых вариантах опыта, так и практикой совместного промышленного хранения плодов яблони различных сортов. Установлено, что при совместном хранении плодов сортов с высокой восприимчивостью к загару (Ветеран, Куликовское) с плодами сорта Богатырь с низкой восприимчивостью к загару в РА (ЗАО Агрофирма имени «15 лет Октября» Липецкой области) увеличивается чувствительность последнего к расстройству.

Так, после 6,5 месяцев совместного хранения в РА (150 т , O_2 -1,2-1,5%, CO_2 -1,2-1,5%, $t=0 \dots +1^\circ C$) обработанных 1-МЦП плодов сортов Ветеран, Куликовское и Богатырь потери от загара устойчивого к заболеванию сорта Богатырь составили 32%, а после их 7-дневного нахождения в комнатных условиях – 95,2%, степень поражения средняя.

Потери восприимчивых к загару плодов сортов Ветеран и Куликовское были почти в 2 раза выше – 60,1%, а после 7 дней хранения в комнатных условиях – 99,8%, степень поражения сильная. Следует отметить, что на долю плодов сорта Богатырь в камере приходилось 20%, а 80% занимали плоды сортов Ветеран и Куликовское, отличающиеся высоким уровнем биосинтеза этилена и других летучих соединений, содержание этилена в атмосфере камеры достигало 169 ppm.

При монохранении плодов сорта Богатырь в камере с РА (O_2 – 1,2-1,5%, CO_2 – 1,2-1,5%, $t=0...+1^{\circ}C$) содержание экзогенного этилена не превышало 10 ppm, а плоды не поражались загаром после 6,5 месяцев хранения и 7 дней пребывания в комнатных условиях.

Показано, что в условиях РА (O_2 – 1,2-1,5%, CO_2 – 1,8-2,0%, $t=2,5^{\circ}C$) при совместном хранении обработанных 1-МЦП плодов восприимчивого к загару сорта Антоновка обыкновенная и устойчивого сорта Богатырь в соотношении 2,5/97,5 % потери от загара после 6 месяцев были очень низкие, составляя 5 и 0% соответственно. При монохранении в РА (O_2 – 1,2-1,5%, CO_2 – 1,8-2,0%, $t=2,5^{\circ}C$) обработанных 1-МЦП плодов сорта Антоновка обыкновенная потери от загара были в несколько раз выше и составляли 36,2%, после 7 дней хранения в комнатных условиях – 78,3% .

МА, совместное хранение, контроль (Мартовское + Богатырь,) + 1-МЦП (Мартовское + Богатырь). Результаты варианта совместного хранения контрольных и обработанных 1-МЦП плодов сортов Мартовское и Богатырь в соотношении 25/25/25/25% подтверждают закономерности, выявленные в 2^x -компонентных вариантах совместного хранения контрольных и обработанных 1-МЦП плодов двух сортов яблони, а именно: снижение восприимчивости к загару контрольных и обработанных 1-МЦП плодов сорта Мартовское и увеличение плодов сорта Богатырь, по сравнению с монохранением.

Известно, что твердость плодов зависит от содержания эндогенного этилена. В результате проведенных исследований установлено, что коэффициент корреляции между этими показателями для сорта Мартовское составляет 0,8. Источником накопления этилена в атмосфере камеры является эндогенный этилен, выделяемый плодами, поэтому в замкнутой атмосфере хранения чаще всего при низком эндогенном этилене – низкий экзогенный, при высоком – высокий. Однако в практике хранения бывают ситуации, когда плоды с низкой интенсивностью созревания (обработанные 1-МЦП и др.) хранятся в атмосфере высокого содержания этилена, что чаще всего связано с совместным хранением различных сортов, либо контрольных и обработанных партий плодов, или плодов одного сорта, имеющих различную степень зрелости, что подтверждает смоделированный нами 4^x-компонентный вариант.

В результате проведенных исследований было показано, что послеуборочная обработка плодов 1-МЦП обеспечивает ингибирование созревания и сохранение твердости плодов не только в условиях низкого, но и в условиях высокого уровня экзогенного этилена, по сравнению с необработанными плодами. Через 3 месяца хранения в упаковке, содержащей 4^x-компонентную смесь с высоким содержанием экзогенного этилена – 89,1 ppm, в обработанных 1-МЦП плодах сортов Мартовское и Богатырь содержание эндогенного этилена оставалось на низком уровне и составляло 7,1 и 5,02 ppm, а в контрольных плодах увеличивалось до 137,5 и 211,2 ppm, при этом твердость плодов в обработанных партиях оставалась высокой – 10,2 и 8,1 кг/см², а в контрольных плодах снизилась до 5,9 и 6,9 кг/см² соответственно. Однако, при высоком уровне экзогенного этилена (и других летучих соединений) и низком уровне эндогенного этилена восприимчивость к загару обработанных 1-МЦП плодов чаще всего увеличивается и прежде всего плодов, чувствительных к расстройству сортов (см. табл. 1, 2).

Таким образом, важным положительным проявлением послеуборочной обработки 1-МЦП является сохранение высокой твердости плодов (но не устойчивости к загару) даже при высоком содержании экзогенного этилена, однако это продолжается только до тех пор, пока удастся ингибировать синтез эндогенного этилена.

Установлено, что в 4^х-компонентной смеси, с долей необработанных (контроль) плодов сорта Мартовское 25%, содержание экзогенного этилена было в 2-3 раза ниже, по сравнению с 2^х-компонентной смесью и монохранением контрольных плодов этого сорта, составляя через 3 месяца – 89,1, 175 и 246 ppm, что, очевидно, повлияло на содержание эндогенных показателей. Концентрация эндогенного этилена к этому сроку составляла 137,5, 480 и 338,2 ppm, КТ₂₈₁ – 32,4, 46,8 и 56 нмоль/см² соответственно.

Содержание триенов коррелировало с количеством и интенсивностью поражения плодов загаром – 89, 100 и 100% соответственно, через 7 суток потери во всех вариантах составили 100% при средней, сильной и очень сильной степени проявления. То есть *для необработанных плодов сорта Мартовское наиболее экстремальные условия, способствующие накоплению КТ₂₈₁ и развитию загара, формируются при монохранении в МА, по сравнению с хранением в 2^х и 4^х-компонентных смесях.*

Через 3 месяца хранения в МА обработанных 1-МЦП плодов сорта Мартовское в составе 4^х-компонентной смеси содержание экзогенного этилена в упаковках (в отличие от контроля) было более чем в 10 раз выше, по сравнению с 2^х-компонентным и монохранением обработанных 1-МЦП плодов этого сорта, составляя 89,1, 5,6 и 8,3 ppm соответственно. Концентрация эндогенного этилена к этому сроку составляла 7,1, 24,2 и 5,3 ppm, КТ₂₈₁ – 19,5, 14,5 и 23,6 нмоль/см², поражаемость загаром через 7 дней хранения в комнатных условиях – 40, 20 и 90% соответственно (степень поражения во всех вариантах – слабая). Через 6 месяцев хранения содержание КТ₂₈₁ увеличилось до 27,4, 31,5 и 38,4 нмоль/см², потери от зага-

ра через 7 дней хранения в комнатных условиях – 86, 85 и 100% (степень поражения – слабая, средняя и сильная). Таким образом, было показано, что *в вариантах с обработкой 1-МЦП плодов сорта Мартовское (как и в контрольных) риски поражения и интенсивность развития загара ниже в 2^х и 4^х- компонентной смеси, по сравнению с монохранением.*

Устойчивость к загару плодов сорта Богатырь при различных условиях хранения существенно отличается от сорта Мартовское.

Выявлено, контрольные и обработанные 1-МЦП плоды сорта Богатырь больше всего накапливали KT_{281} в кутикуле кожицы плодов и, следовательно, проявляли более высокую восприимчивость к загару в условиях 2^х- компонентной смеси. После 6 месяцев хранения в МА в контрольных плодах сорта Богатырь, хранящихся в составе 4^х, 2^х-компонентной смеси и при монохранении содержание KT_{281} составляло 16,3, 26,5 и 11,4 нмоль/см², потери от загара – 71, 82 и 34,1% соответственно, степень поражения – слабая, средняя, слабая соответственно. В обработанных 1-МЦП плодах сорта Богатырь содержание KT_{281} составляло 4,1, 16 и 3,3 нмоль/см², потери от загара – 0, 17 и 0% соответственно.

Вероятно, что для сорта Богатырь максимальное количество экзогенных соединений (возможно α -фарнезена), вызывающих накопление KT_{281} и развитие загара, образуется в составе 2^х- компонентной смеси, где 50% хранимой продукции составляют плоды восприимчивого к загару сорта Мартовское. При монохранении – концентрация таких экзогенных соединений, очевидно, низка, в составе 4^х-компонентной смеси, где каждая партия составляет 25% от хранимой продукции, концентрация экзогенных соединений очевидно ниже, чем в составе 2^х- компонентной смеси.

Таким образом, при совместном хранении в МА плодов сорта Мартовское и сорта Богатырь уровень KT_{281} в кутикуле кожицы плодов сорта Мартовское и их восприимчивость к загару снижается, а у сорта Богатырь – повышается, по сравнению с монохранением. Количество и сте-

пень повреждения плодов сорта Богатырь увеличивается с увеличением доли сорта Мартовское в объеме хранимой продукции.

Опыт № 2. Биологической особенностью сорта Жигулевское является очень низкая восприимчивость к загару, высокая интенсивность созревания, что способствует поражению плодов распадом от старения, побурением сердцевины, потере твердости, сочности, свежести а также повышенная восприимчивость кожицы к высоким концентрациям CO_2 (в МА, РА), что проявляется в виде некрозов (ожогов), чаще всего на неокрашенных, не достигших оптимальной степени зрелости плодах с низким уровнем фенольных соединений.

ОА – контроль. После 6,5 месяцев хранения в ОА плоды сорта Жигулевское отличались максимальным содержанием эндогенного этилена – 1209,0 ppm и минимальной твердостью плодов – 5,2 кг/см² (табл. 3). Однако плоды проявляли устойчивость к загару, потенциал устойчивости к расстройству подтверждался низким уровнем КТ₂₈₁ (3,6 нмоль/см²), характеризовались перезреванием, что проявлялось не только в потере твердости и мучнистости, но и в побурении сердцевины – 100%.

Таблица 3 – Влияние способа и срока хранения, послеуборочной обработки 1-МЦП на биохимические показатели и качество плодов сорта Жигулевское (6,5 месяцев хранения)

Способ хранения	Сорт/ вариант	Содержание в атмосфере		Твер- дость, кг/см ²	Этилен, ppm	Фар- незен	КТ ₂₈₁	За- гар, %	Ожог, %
		Этилен, ppm	СО ₂ , %						
						нмоль/см ²			
ОА	1. контроль	0,8-1,5	0,03	5,2	1209,0	25,0	3,6	0	0
ОА	2. 1-МЦП			6,3	896,5	22,7	2,8	0	0
МА	3. контроль	200-600	4-5	5,4	481,0	33,0	15,2	87,0	0
МА	4. 1-МЦП	50-500	4-5	7,5	185,2	15,3	1,3	0	3,8
МА сме сь	5. контроль	250-400	4-5	5,5	361,3	28,0	10,2	40,2	0
	1-МЦП			7,0	180,3	16,5	6,3	3,1	2,6

ОА + 1-МЦП. Обработка 1-МЦП плодов сорта с высокой интенсивностью обменных процессов сдерживала их созревание в условиях ОА, однако после длительного (6,5 месяцев) хранения содержание эндогенного этилена увеличивалось до 896,5 ppm (при твердости плодов 6,3 кг/см²), что свидетельствовало о перезревании партии и подтверждалось побурением сердцевины (100%), при этом плоды отличались потенциальной устойчивостью к загару: КТ₂₈₁ – 2,8 нмоль/см².

Ранее проведенные исследования и результаты промышленного хранения показывают, что максимальная эффективность послеуборочной обработки 1-МЦП плодов сорта Жигулевское при последующем хранении в условиях ОА обеспечивается в течение 4-5 месяцев хранения, дальнейшее увеличение сроков хранения (как в нашем опыте) целесообразно только в экспериментальных исследованиях.

Таким образом, в условиях ОА контрольные и обработанные 1-МЦП плоды сорта Жигулевское не поражаются загаром даже при очень высоком уровне накопления эндогенного этилена, что, по-видимому, обусловлено высокой генотипической устойчивостью сорта к расстройству (в отличие от сорта Мартовское). Кроме того, активный воздухообмен в ОА, обеспечивающий снижение концентрации летучих соединений в атмосфере и на поверхности плодов, активный синтез антиоксидантов в кожуре плодов способствовал снижению рисков развития расстройства.

МА-контроль. Через 6,5 месяцев хранения в МА 87% контрольных плодов сорта Жигулевское были поражены загаром. Вероятно, как и в многочисленных примерах с другими сортами, состав атмосферы в упаковке оказал решающее значение на повышение восприимчивости плодов сорта Жигулевское к загару. При хранении контрольных плодов яблони сорта Жигулевское в МА концентрация СО₂ достигала 4-5 %, а содержание экзогенного этилена в замкнутом пространстве увеличилось в несколько десят-

ков раз, по сравнению с ОА, составляя 600 и 1,5 ppm соответственно, при том, что содержание эндогенного этилена было более чем в два раза ниже, составляя 481,0 и 1209,0 ppm соответственно.

Очевидно, высокий уровень летучих соединений в атмосфере упаковки, на который косвенным образом указывают уровни экзогенного этилена, активировали накопление КТ₂₈₁ (15,2 нмоль/см²), что обеспечило массовое поражение плодов загаром. Высокий уровень СО₂ в МА способствовал ингибированию созревания (накоплению эндогенного этилена) и синтеза антиоксидантов в кожице плодов, что также содействовало повышению их восприимчивости к заболеванию.

МА+1-МЦП. Через 6,5 месяцев хранения в условиях МА послеуборочная обработка 1-МЦП обеспечила защиту от загара плодов сорта Жигулевское (как и сорта Богатырь, но не сорта Мартовское).

Показано, что обработка плодов сорта Жигулевское 1-МЦП при последующем длительном хранении их в МА обеспечила ингибирование созревания как по сравнению с вариантами ОА+1-МЦП, так и по сравнению с МА (контроль). Как мы уже отмечали, это обусловлено воздействием 1-МЦП и повышенной концентрацией СО₂ в атмосфере.

Содержание эндогенного этилена в плодах изучаемых вариантов составило 185,2, 896,5 и 481,0 ppm, твердость плодов – 7,5, 6,3 и 5,4 кг/см² соответственно. Достаточно высокий уровень содержания эндогенного этилена в варианте 1-МЦП+МА обеспечил высокий уровень экзогенного – до 500 ppm (возможно и других летучих соединений), что, однако, не привело к накоплению КТ₂₈₁ (его содержание составило 1,3 нмоль/см²) и развитию загара.

Подобная закономерность была получена в ЗАО «Сад Гигант» Краснодарского края при хранении плодов сорта Голден Делишес (с низкой восприимчивостью к загару) в МА и МА+1-МЦП.

МА, совместное хранение, контроль+1-МЦП (соотношение контрольных и обработанных 1-МЦП плодов сорта Жигулевское в упаковке – 50/50%). Благодаря известным свойствам препарата 1-МЦП (защита от загара и др.) изучаемый вариант (контроль+1-МЦП) моделирует вариант совместного хранения контрольных плодов восприимчивого к загару сорта Мартовское и устойчивого – Богатырь. В результате потери от загара плодов с высокой восприимчивостью (контроль) снижаются, а плодов с низкой (обработка 1-МЦП) повышаются.

При совместном хранении контрольных и обработанных 1-МЦП плодов сорта Жигулевское потери от загара в контрольной партии были значительно ниже, чем при раздельном их хранении, составляя 40,2 и 87,0% соответственно. В обработанной 1-МЦП партии при совместном хранении, наоборот, появляются потери от заболевания (3,1%), тогда как при монохранении они отсутствуют.

Восприимчивость разных партий плодов к загару при совместном и раздельном хранении прослеживается по данным $КТ_{281}$, достигая в контрольных плодах более высоких – 10,2 и 15,2 нмоль/см², в обработанных 1-МЦП более низких значений – 6,3 и 1,3 нмоль/см², соответственно.

Вероятно, при совместном хранении в МА (контроль+1 МЦП) повышение восприимчивости к загару обработанных плодов сорта Жигулевское, кроме общих для МА причин, объясняется воздействием необработанных плодов, активно индуцирующих соединения, накапливающиеся в атмосфере и на поверхности плодов, продукты окисления которых вызывают побурение кожицы.

Следует отметить, что в результате данного и ранее проведенных исследований нами было показано, что содержание $КТ_{281}$ в кутикуле кожицы выше 6 нмоль/см² является критическим для сорта Жигулевское, обла-

дающего низкой восприимчивостью к загару, и может сопровождаться появлением загара (для других сортов показатели KT_{281} чаще всего выше).

В условиях МА плоды яблони сорта Жигулевское могут повреждаться внешними CO_2 -ожогами (в обычной атмосфере хранения такие повреждения отсутствуют). Вероятно, повышение концентрации углекислого газа до 4 % и более является критической и вызывает некроз тканей у плодов сорта Жигулевское (сорта Мартовское, Богатырь выдерживают более высокие концентрации газа).

Исходно низкий уровень антиоксидантов в плодах (не окрашенные, с низким уровнем фенольных соединений) и послеуборочная обработка 1-МЦП, ингибирующая созревание и накопление антиоксидантов, увеличивают риски CO_2 -повреждений. Так, при отдельном и совместном хранении в МА обработанные 1-МЦП плоды проявляли восприимчивость к расстройству – 3,8 и 2,6% соответственно, в контрольных партиях расстройство не отмечалось.

Подтверждено, что плоды сорта Жигулевское, обработанные 1-МЦП, так же как сорта Мартовское и Богатырь, сохраняют высокую твердость плодов (но не устойчивость к загару) даже при высоком содержании экзогенного этилена. В условиях МА в составе 2^x-компонентной смеси при высоком содержании экзогенного этилена (250-400 ppm) твердость обработанных 1-МЦП и контрольных плодов сорта Жигулевское составляла 7,0 и 5,5 кг/см², потери от загара – 3,1 и 40,2% соответственно.

В результате проведенных исследований было установлено, что в условиях внешнего ограниченного воздухообмена уровень содержания экзогенного и эндогенного этилена влияет на содержание продуктов окисления α -фарнезена, но не определяет его: и при высоком (100-200 ppm), и при низком (менее 10 ppm) содержании экзогенного этилена, и при высоком (150-500 ppm), реже – при низком (менее 10 ppm) содержании эндогенного

этилена происходит интенсивное накопление $КТ_{281}$ (15-50 нмоль/см² – для сорта Мартовское, 10-20 нмоль/см² – для сорта Богатырь, 6-15 нмоль/см² – для сорта Жигулевское), приводящее к развитию загара.

Совместное хранение плодов сильно восприимчивого сорта (партии) с плодами слабо восприимчивого сорта (партии) усиливает поражение загаром плодов слабо восприимчивого сорта (партии) и снижает уровень заболевания у плодов сильно восприимчивого сорта (партии).

Следовательно, одной из важнейших причин, вызывающих загар у плодов, могут быть малолетучие соединения, выделяемые в основном восприимчивыми к расстройству плодами и катализирующие загар как у самих себя (автокатализ), так и у плодов других сортов, что особенно актуально в условиях ограниченного воздухообмена (МА, РА, «условно герметичные» камеры с ОА). Чем выше в объеме хранимой продукции доля восприимчивых к загару плодов, по отношению к сортам с низкой восприимчивостью, тем выше вероятность поражения плодов маловосприимчивого сорта.

Выводы. В результате проведенных нами исследований установлена прямая зависимость между уровнем накопления $КТ_{281}$ в кутикуле кожицы плодов яблони и развитием загара ($r^2=0,9$, сорт Мартовское), данный показатель рекомендуется к использованию для прогноза развития загара плодов яблони при хранении.

Генотип сорта определяет восприимчивость плодов к загару. Сорта с высокой (Мартовское), средней (Богатырь), низкой (Жигулевское) восприимчивостью к заболеванию и обработанные 1-МЦП плоды различных сортов отличаются высоким (15-50 нмоль/см²), средним (10-20 нмоль/см²) и низким (7-12 нмоль/см²), соответственно, уровнем накопления $КТ_{281}$ в кожице плодов, стимулирующим развитие заболевания.

Послеуборочная обработка плодов 1-МЦП ингибирует биосинтез эндогенного этилена, снижает уровень накопления КТ₂₈₁, обеспечивает сохранение твердости плодов при их хранении как в ОА, так и в условиях ограниченного воздухообмена (МА, РА) при низком и высоком уровне экзогенного этилена. В условиях МА и РА обработка плодов 1-МЦП не гарантирует защиту от загара у партий плодов с высокой восприимчивостью к заболеванию.

В условиях ограниченного внешнего воздухообмена уровень содержания экзогенного и эндогенного этилена влияет на степень развития загара, но достоверной зависимости между показателями в рассматриваемых вариантах не выявлено. И при высоком (100-200 ppm), и при низком (менее 10 ppm) содержании экзогенного этилена, и при высоком (150-500 ppm), реже при низком содержании эндогенного этилена (менее 10 ppm) происходит интенсивное накопление КТ₂₈₁, приводящее к развитию загара.

Важнейшей причиной, вызывающей загар у плодов в условиях ограниченного внешнего воздухообмена (МА, РА), по сравнению с ОА, является увеличение концентрации летучих соединений (в т.ч. α -фарнезена) в атмосфере и на поверхности кожицы, выделяемых восприимчивыми к расстройству плодами и катализирующими загар как у самих себя (автокатализ при монохранении), так и у плодов других сортов (при совместном хранении).

Плоды сортов с низкой восприимчивостью к загару, предварительно обработанные 1-МЦП, эффективно хранить в МА и РА (при монохранении), так как не достигает критического уровня накопление в атмосфере и кутикуле кожицы летучих соединений, приводящих к интенсивному биосинтезу КТ₂₈₁ и поражению плодов загаром.

При совместном хранении в условиях ограниченного воздухообмена (МА, РА) контрольных и обработанных 1-МЦП плодов восприимчивых и устойчивых сортов увеличиваются потери от загара в партиях плодов ус-

тойчивых и снижаются у восприимчивых к заболеванию сортов, по сравнению с монохранением. Направленность воздействия и интенсивность проявления расстройства зависит от концентрации летучих соединений, в том числе α -фарнезена в атмосфере. Чем больше доля в объеме камеры/упаковки восприимчивого к загару сорта/партии, тем выше потери и степень поражения относительно устойчивого к заболеванию сорта/партии.

Перспективным направлением дальнейших исследований является изучение влияния содержания летучих соединений (в том числе α -фарнезена) не только в плодах, но и в атмосфере хранения на развитие физиологических заболеваний (в том числе загара) плодов яблони и разработка методов удаления (возможно разрушения) летучих соединений до безопасных концентраций.

Литература

1. Гудковский, В.А. Причины повреждения плодов загаром и система мер борьбы с этим заболеванием / В.А. Гудковский // Повышение эффективности садоводства в современных условиях. – Т. 3: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – МичГАУ, 2003. – С. 207-216.
2. Гудковский, В.А. Эффективность ингибиторов этилена в предотвращении поражения плодов физиологическими и грибными заболеваниями в период хранения и доведения до потребителя / В.А. Гудковский // Прогрессивные методы хранения плодов, овощей и зерна: Мат. междунар. науч.-практ. конф. 27-28 апреля 2004 г. – Воронеж, 2004. – С. 3-13.
3. Гудковский, В.А. Современные и новейшие технологии хранения плодов (физиологические основы, преимущества и недостатки) / В.А. Гудковский, Л.В. Кожина, А.Е. Балакирев // Научные основы садоводства: сб. науч. Трудов. – Воронеж: Кварта, 2005. – С. 309-325.
4. Гудковский, В.А. Основные итоги исследований по разработке и освоению инновационных технологий хранения плодов / В.А. Гудковский, Л.В. Кожина, А.Е. Балакирев, Ю.Б. Назаров // Инновационные основы развития садоводства России: Труды Всероссийского научно-исследовательского института садоводства им. И.В. Мичурина. – Воронеж, 2011. – С. 268-291.
5. Гудковский, В.А. Влияние условий хранения на поражаемость загаром и качество плодов яблони средней зоны России / В.А. Гудковский, Л.В. Кожина, А.Е. Балакирев, Ю.Б. Назаров, В.Л. Урнев // Плоды и овощи – основа структуры здорового питания человека: Мат. междунар. науч.-практ. конф. 7-8 сентября 2012 года в г. Мичуринске Тамбовской области. – Мичуринск-наукоград РФ, 2012. – С. 105-136.

6. Anet E.F.L.J. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. VIII. Volatile products from autoxidation of α -farnesene. *J. Sci. Food Agr.*, 1972. – 23. – P. 605-608.
7. Ju Z., Bramlage W.J. Cuticular phenolics and scald development in “Delicious” apples. / *J.Am.Soc.Hortic.Sc.*, 2000; Vol. 125, N 4. P. 498-504.
8. Pesis E., Ebeler S.E., S.T. de Freitas, Padda M., Mitcham E.J. Short anaerobiosis period prior to cold storage alleviates bitter pit and superficial scald in Granny Smith apples. *Society of Chemical Industry, J Sci Food Agric* 2010; 90: 2114-2123.
9. Rowan D.D., Hunt M.B., Fielder S., Norris J., Sherburn M.S. Conjugated triene oxidation products of α -farnesene induce symptoms of superficial scald on stored apples. *J Agric Food Chem* 49:2780-2787 (2001).
10. Rudell DR, Mattheis JP and Fellman JK, Influence of ethylene action, storage atmosphere, and storage duration on diphenylamine and diphenylamine derivative content of Granny Smith apple peel. *J Agric Food Chem* 54:2365–2371 (2006).
11. Rupasinghe H.P.V., Paliyath G., Murr D.P. Biosynthesis of alpha-farnesene and its relation to superficial scald development in “Delicious” apples. *J.Am.Soc.Hortic.Sc.*, 1998; Vol. 123, N 5. P. 882-886.
12. Arquiza J., Hay A.G., Nock J.F., Watkins C.B. 1-Methylcyclopropene interactions with diphenylamine on diphenylamine degradation, α -farnesene and conjugated trienol concentrations, and polyphenol oxidase and peroxidase activities in apple fruit. *J Agric Food Chem* 53:7565-7570 (2005).
13. Zanella A, Control of apple superficial scald and ripening – a comparison between 1-methylcyclopropene and diphenylamine postharvest treatments, initial low oxygen stress and ultra-low oxygen storage. *Postharv Biol Technol* 27:69–78 (2003).
15. Sulvia M. Blankenship, John M. Dole. 1-Methylcyclopropene // *Postharvest Biology and Technology*. – 2003. 28. – P. 1-25.
15. Tsantili E. et al. Ethylene and α -farnesene metabolism in green and red skin of three apple cultivars in response to 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment. *J Agric Food Chem*. V. 55. N 13. P. 5267-5276. (2007).
16. Ракитин, В.Ю. Определение газообмена и содержания этилена, двуокиси углерода и кислорода в тканях растений / В.Ю. Ракитин, Л.Ю. Ракитин // *Физиология растений*. – М.: Наука, 1986. – Т.33. – Вып. 2. – С. 403-413.
17. Морозова, Н.П. Спектрофотометрическое определение содержания α -фарнезена и продуктов его окисления в растительном материале / Н.П. Морозова, Е.Г. Салькова // *Биохимические методы*. – М.: Наука, 1980. – С. 107-112.

References

1. Gudkovskij, V.A. Prichiny povrezhdenija plodov zagarom i sistema mer bor'by s jetim zabolevanijem / V.A. Gudkovskij // *Povyshenie jeffektivnosti sadovodstva v sovremennyh uslovijah.* – Т. 3: Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – MichGAU, 2003. – S. 207-216.
2. Gudkovskij, V.A. Jeffektivnost' inhibitorov jetilena v predotvrashhenii porazhenija plodov fiziologicheskimi i gribnymi zabolevanijami v period hranenija i dovedenija do potrebitelja / V.A. Gudkovskij // *Progressivnye metody hranenija plodov, ovoshhej i zerna: Mat. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 27-28 aprelja 2004 g.* – Voronezh, 2004. – S. 3-13.
3. Gudkovskij, V.A. Sovremennye i novejschie tehnologii hranenija plodov (fiziologicheskie osnovy, preimushhestva i nedostatki) / V.A. Gudkovskij, L.V. Kozhina, A.E. Balakirev // *Nauchnye osnovy sadovodstva: sb. nauch. Trudov.* – Voronezh: Kvarta, 2005. – S. 309-325.

4. Gudkovskij, V.A. Osnovnye itogi issledovanij po razrabotke i osvoeniju innovacionnyh tehnologij hranenija plodov / V.A. Gudkovskij, L.V. Kozhina, A.E. Balakirev, Ju.B. Nazarov // Innovacionnye osnovy razvitija sadovodstva Rossii: Trudy Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta sadovodstva im. I.V. Michurina. – Voronezh, 2011. – S. 268-291.

5. Gudkovskij, V.A. Vlijanie uslovij hranenija na porazhaemost' zagarom i kachestvo plodov jabloni srednej zony Rossii / V.A. Gudkovskij, L.V. Kozhina, A.E. Balakirev, Ju.B. Nazarov, V.L. Urnev // Plody i ovoshhi – osnova struktury zdorovogo pitaniya cheloveka: Mat. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 7-8 sentjabrja 2012 goda v g. Michurinske Tambovskoj oblasti. – Michurinsk-naukograd RF, 2012. – S. 105-136.

6. Anet E.F.L.J. Superficial scald, a functional disorder of stored apples. VIII. Volatile products from autoxidation of α -farnesene. J. Sci. Food Agr., 1972. – 23. – R. 605-608.

7. Ju Z., Bramlage W.J. Cuticular phenolics and scald development in “Delicious” apples. / J.Am.Soc.Hortic.Sc., 2000; Vol. 125, N 4. P. 498-504.

8. Pesis E., Ebeler S.E., S.T. de Freitas, Padda M., Mitcham E.J. Short anaerobiosis period prior to cold storage alleviates bitter pit and superficial scald in Granny Smith apples. Society of Chemical Industry, J Sci Food Agric 2010; 90: 2114-2123.

9. Rowan D.D., Hunt M.B., Fielder S., Norris J., Sherburn M.S. Conjugated triene oxidation products of α -farnesene induce symptoms of superficial scald on stored apples. J Agric Food Chem 49:2780-2787 (2001).

10. Rudell DR, Mattheis JP and Fellman JK, Influence of ethylene action, storage atmosphere, and storage duration on diphenylamine and diphenylamine derivative content of Granny Smith apple peel. J Agric Food Chem 54:2365–2371 (2006).

11. Rupasinghe H.P.V., Paliyath G., Murr D.P. Biosynthesis of alpha-farnesene and its relation to superficial scald development in “Delicious” apples. J.Am.Soc.Hortic.Sc., 1998; Vol. 123, N 5. P. 882-886.

12. Arquiza J., Hay A.G., Nock J.F., Watkins C.B. 1-Methylcyclopropene interactions with diphenylamine on diphenylamine degradation, α -farnesene and conjugated trienol concentrations, and polyphenol oxidase and peroxidase activities in apple fruit. J Agric Food Chem 53:7565-7570 (2005).

13. Zanella A, Control of apple superficial scald and ripening – a comparison between 1-methylcyclopropene and diphenylamine postharvest treatments, initial low oxygen stress and ultra-low oxygen storage. Postharv Biol Technol 27:69–78 (2003).

15. Sulvia M. Blankenship, John M. Dole. 1-Methylcyclopropene // Postharvest Biology and Technology. – 2003. 28. – P. 1-25.

15. Tsantili E. et al. Ethylene and α -farnesene metabolism in green and red skin of three apple cultivars in response to 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment. J Agric Food Chem. V. 55. N 13. P. 5267-5276. (2007).

16. Rakitin, V.Ju. Opredelenie gazoobmena i sodержanija jetilena, dvoukisi ugleroda i kisloroda v tkanjah rastenij / V.Ju. Rakitin, L.Ju. Rakitin // Fiziologija rastenij. – M.: Nauka, 1986. – T.33. – Vyp. 2. – S. 403-413.

17. Morozova, N.P. Spektrofotometricheskoe opredelenie sodержanija α -farnezena i produktov ego okislenija v rastitel'nom materiale / N.P. Morozova, E.G. Sal'kova // Biohimicheskie metody.– M.: Nauka, 1980.– S. 107-112.