

УДК 526.32: 631.563

Влияние температурного режима хранения на потери от функциональных расстройств и интенсивность поверхностного поражения плодов яблони загаром

Всероссийский
научно-исследовательский институт
селекции плодовых культур

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Никитин Андрей Леонидович
Адрес: 302530, Орловская область,
Орловский район, п/о Жилина
E-mail: nikitin@orel.vniispk.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Никитин, А. Л., Макаркина, М. А., &
Галашева, А. М. (2023). Влияние темпе-
ратурного режима хранения на потери
от функциональных расстройств
и интенсивность поверхностного
поражения плодов яблони загаром.
Хранение и переработка сельхозсырья,
(1), 212–225. [https://doi.org/10.36107/
spfp.2023.338](https://doi.org/10.36107/spfp.2023.338)

ПОСТУПИЛА: 10.06.2022

ПРИНЯТА: 03.02.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



А. Л. Никитин, М. А. Макаркина, А. М. Галашева

АННОТАЦИЯ

Введение. При хранении яблок основную опасность представляют функциональные расстройства (ФР): побурение кожицы (загар) и подкожная пятнистость (горькая ямчатость), на их долю приходится основной процент потерь.

Цель. Выявление сортов устойчивых и генетически предрасположенных к ФР плодов в процессе низкотемпературного хранения в различных режимах. Определение интенсивности поверхностного поражения (ИПП) плодов загаром для более точной оценки качества конечной продукции, подборе оптимальных режимов и конкретизации сроков хранения плодов.

Материалы и методы. Плоды сортов яблони селекции ВНИИСПК Вавиловское, Ивановское, Министр Киселёв, Рождественское хранили в режимах +2 °С и –1 °С. По окончании хранения плоды распределяли в зависимости от ИПП загаром на 4 группы.

Результаты. Зафиксированы ФР: низкотемпературное разложение мякоти (НТР); загар; низкотемпературный ожог (НТО); перезревание, побурение мякоти, увядание. Плоды изученных сортов в различной степени поражались загаром, процент потерь составил – 12,6 % от общего количества хранимых плодов, 8,2 % – относили к здоровым, 4,4 % – к отходу. Сильнее поражались плоды в режиме +2 °С. У сорта Ивановское загар отсутствовал. Наибольший процент загара 5,4 % был на площади <5 % поверхности плода, наименьший 0,1 % – на площади >50 %. В среднем по сортам минимальные потери от ФР были в режиме –1 °С. Плоды сортов Министр Киселёв и Рождественское при данном режиме поражались НТО и НТР.

Выводы. Установлена различная степень поражения плодов яблони и их индивидуальная реакция на температурный режим хранения, лучший режим –1 °С. Конкретная группировка плодов по ИПП дает возможность точнее разделять их по качеству при реализации, проследить степень их поражения в различных температурных условиях хранения с фиксацией результатов в обозначенных границах площади поверхности. Необходима корректировка температурных условий хранения плодов изучаемых сортов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

яблоня, триплоидные сорта, плоды, иммунитет к парше, температура хранения, продолжительность хранения, отходы, функциональные расстройства, загар, интенсивность поверхностного поражения

The Effect of the Temperature Regime of Storage on Losses from Functional Disorders and the Intensity of Surface Damage to Apple Fruits by Scald

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK)

Andrey L. Nikitin, Margarita A. Makarkina, Anna M. Galasheva

CORRESPONDENCE:

Andrey L. Nikitin

Address: 302530, p/o Zhilina, Oryol district, Oryol region, Russian Federation
E-mail: nikitin@vniispk.ru

FOR CITATIONS:

Nikitin, A. L., Makarkina, M. A., & Galasheva, A. M. (2023). The effect of the temperature regime of storage on losses from functional disorders and the intensity of surface damage to apple fruits by scald. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 212 – 225. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.338>

RECEIVED: 10.06.2022

ACCEPTED: 03.02.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction. When storing apples, functional disorders (FDs) are the main danger: browning of the skin (scald) and subcutaneous spotting (bitter pitting), they account for the main percentage of losses.

Purpose. Identification of cultivars resistant and genetically predisposed to FDs, in the process of low-temperature storage in various modes. Determination of the intensity of surface damage (SDI) of fruits by scald for a more accurate assessment of the quality of the final product and the selection of optimal modes for specifying the shelf life of fruits.

Materials and Methods. The fruits of VNIISPK apple cultivars Vavilovskoye, Ivanovskoye, Ministr Kiselyov and Rozhdestvenskoye were stored in +2 °C and – 1 °C modes. At the end of storage, the fruits were distributed into 4 groups depending on the SDI by scald.

Results. The following functional disorders were observed: low-temperature decomposition of the pulp (LTD); scald; low-temperature burn (LTB); overripe, browning of the pulp and wilting. Fruits of all studied cultivars were affected by scald to varying degrees, the percentage of losses was 12.6 % of the total number of stored fruits, 8.2 % were attributed to healthy, 4.4 % – to waste. Fruits were more damaged in the +2 °C mode. There was no scald on the fruits of Ivanovskoye. The largest percentage of scald 5.4 % was on the area <5 % of the fruit surface, and the smallest percentage 0.1 % was on the fruit surface area >50 %. On average, the minimum losses from FDs were in the mode of – 1 °C. Under this regime, fruits of Ministr Kiselyov and Rozhdestvenskoe were affected by LTD and LTB.

Conclusions. A different degree of damage to apple fruits and their individual reaction to the temperature regime of storage has been established, the best mode is 1 °C. A specific grouping of fruits by SDI makes it possible to separate them more accurately by quality during sale, to monitor the degree of their damage in various temperature storage conditions with the fixation of the results within the designated boundaries of the surface area. It is necessary to adjust the temperature conditions of storage of fruits of the studied cultivars.

KEYWORDS

apple, triploid cultivars, fruits, scab immunity, storage temperature, storage duration, waste, functional disorders, scald, intensity of the surface lesion

ВВЕДЕНИЕ

Сорт определенной плодовой культуры играет главную роль в адаптивном садоводстве. От его внутренних возможностей и взаимосвязи с окружающими его условиями зависит урожайность и качество получаемой продукции (Седов и соавт., 1995). При хранении плодов яблони основную опасность представляют в основном такие функциональные расстройства (ФР), как побурение кожицы (загар) и подкожная пятнистость (горькая ямчатость). На долю этих ФР приходится основной процент потерь. Среди ФР повреждение плодов яблони загаром наиболее актуально, так как значительная часть промышленных сортов подвержено этому расстройству. В связи с этим учеными многих стран активно продолжаются исследования, направленные на решение данной проблемы с поиском путей и способов ее исключения (Lu et al., 2011; Gapper et al., 2017; Karagiannis et al., 2018).

Загар-ФР плодов яблони (*Malus domestica* Borkh.), возникающее из-за некроза верхних 5–6 клеточных слоев кожицы (Ingle & D'Souza, 1989; Lurie & Watkins, 2012). Термин «расстройство» применяется к плодам, которые теряют свое качество в результате различных причин, не связанных с воздействием на них патогенов. Причиной загара являются выделяемые плодами летучие ароматические вещества, образующиеся из-за нарушенного обмена веществ и поражающие кожицу плодов, вызывая на ней ожоги коричневого цвета (Anet, 1974; Anet, 1972a; Anet, 1972b; Barden & Bramlage, 1994a; Rowan et al., 2001; Rudell et al., 2009). На скорость проявления загара оказывает непосредственное влияние сесквитерпеновый углеводород фарнезен, который накапливается в плодовой кожице. В плодах яблони содержится α -изомер фарнезена, синтезирующийся в клетках эпидермиса и выделяющийся непосредственно в кутикулярную зону. Количественное содержание α -фарнезена в покровном воске в 4–5 раз больше, чем в эпидермальном слое плодов. Чем больше α -фарнезена в покровных тканях плодов, тем выше интенсивность их поверхностного поражения (ИПП) при его окислении с образованием гидроперекисей, участвующих в побурении кожицы, и тем очевиднее состояние перезревания¹.

Загар на плодах развивается у восприимчивых (имеющих генетическую предрасположенность) сортов (Whitaker, 2013), когда они хранятся при низких температурах хранения дольше трех месяцев. Пятна коричневого цвета развиваются на зеленой стороне яблока и прогрессируют в размерах, когда плоды хранятся при более высоких температурах. Расстройство также может быть связано с ранней датой сбора урожая, когда плоды снимаются еще не вызревшими (Причко, 2018), а также реакцией плодов на различные стрессы, которые они испытывают не только перед сбором, но и после. К таким стрессам относятся, как погодные условия конкретного сезона вегетации — температура, осадки, гидротермический коэффициент (ГТК) (могут стать деструктивными гидротермическими факторами при выходе за рамки допустимых), солнечное освещение, месторасположение сада, так и технологические параметры холодильных камер, в которых хранятся плоды в послеуборочный период — температурные режимы хранения, относительная влажность воздуха, состав атмосферы, вентиляция и другие (Lurie et al., 1991; Emongor et al., 1994; Watkins et al., 1995; Barden & Bramlage, 1994b; Paull, 1999; Rudell et al., 2011; Rai et al., 2015; Musacchi & Serra, 2018; Причко, 2018; Никитин, 1999; Никитин & Макаркина, 2020; Dällenbach et al., 2020; Marc et al., 2020; Никитин & Макаркина, 2021). Даже минимальные расхождения в показателях суммы активных температур и в количестве осадков по вегетационным сезонам и другим временным отрезкам могут существенно повлиять на поражение плодов загаром (Причко, 2018; Никитин & Макаркина, 2021). Вышеперечисленные факторы оказывают влияние на количественные и параметрические показатели подверженных расстройствам плодов, в частности, на степень их поверхностного поражения.

Известны различные способы защиты плодов от загара — обработка их после уборки ингибитором биосинтеза этилена 1-метилциклопропеном (1-МСП), хранение в газовой среде с ультранизким содержанием O_2 , в динамической контролируемой атмосфере, хранение при низких температурах (Гудковский & Кожина, 2019; Poirier et al., 2020). Но проблема загара плодов для некоторых восприимчивых сортов до сих пор не решена. При разработке новых технологий и способов, предохраняющих

¹ Машанов, А. И., Величко, Н. А., & Ташлыкова, Е. Е. (2014). *Биоконверсия растительного сырья: Учебное пособие*. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет.

плоды яблони от загара, необходимо знать в какой степени и на какой площади поверхности они поражаются этим ФР для более точной оценки их качества и понимания механизма его распространения.

Цель исследований на данном этапе заключалась в выявлении сортов как устойчивых к ФР плодов, так и генетически предрасположенных к ним, в процессе низкотемпературного хранения в различных режимах, в том числе к поражению плодов загаром, доля которого составляет значительный процент общих потерь, в определении интенсивности поверхностного поражения плодов загаром для подбора оптимальных температурных режимов и конкретизации сроков хранения плодов для каждого сорта яблони, в более точной и объективной оценке качества конечной продукции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объектами исследований являлись, внесенные в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию, сорта яблони селекции ВНИИСПК: Вавиловское (триплоидный, иммунный к парше), Ивановское (иммунный к парше), Министр Киселёв (триплоидный, устойчивый к парше) и Рождественское (триплоидный, иммунный к парше), плоды которых закладывали в камеры в день их съема из сада в состоянии их съемной зрелости.

Оборудование

Конкретный лабораторный этап научных исследований проводился в 2021–2022 годы в лаборатории биохимической и технологической оценки сортов и хранения ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур» (ВНИИСПК). Плоды хранили в опытных отечественных холодильных камерах «Polair-CV114-S (ШХн-1,4)» в пластиковых ящиках, объемом 40 литров (10–12 кг плодов), изготовленных из пищевого полиэтилена. Температурные режимы хранения — +2 °С и –1 °С, относительная влажность воздуха — 85...90 %. Состав атмосферы — обычный. Контроль

температурно-влажностных условий в холодильных камерах осуществлялся при помощи комплекса регистраторов TRKO-2V, которые соответствуют СЦТР 467569.002 ТУ.

Методы

Изучали функциональные расстройства плодов на конец их хранения, акцентируясь на загаре и интенсивности поверхностного поражения (ИПП) плодов, дифференцируя ее в зависимости от температуры хранения. Загар на поверхности плодов определяли визуально в конце хранения. Учет пораженных плодов проводили по ИПП по количеству с пересчетом на проценты.

Исследования проводили в 2021...2022 годах по традиционным методикам, рекомендациям и определителям болезней плодов² (Дементьева & Выгонский, 1988; Седова & Гудковский, 1999).

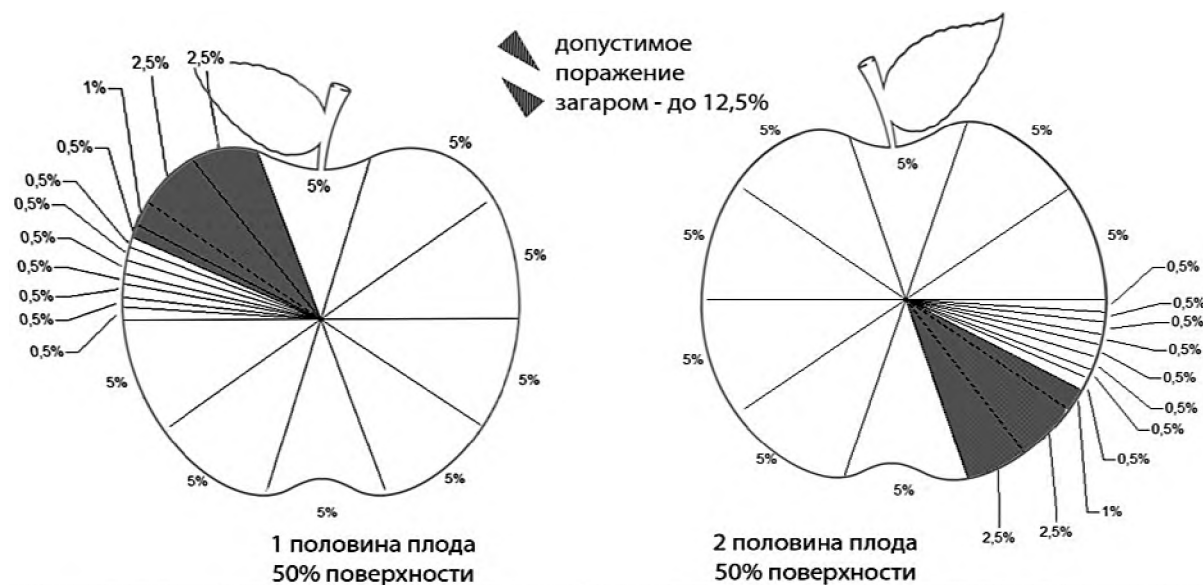
Процедура исследования

При определении ИПП плодов загаром в зависимости от различных температурных режимов хранения распределяли пораженные плоды по четырем группам в зависимости от степени их поражения. Плоды с загаром на площади, не превышающей 1/8 поверхности, относили к 1 сорту и 1 группе (<5...от 5 до 12,5 % ИПП) — очень легкая и легкая степени поражения (Рисунок 1), на площади 1/4 поверхности к 2 сорту и 2 группе (от 12,5 до 25 % ИПП) — умеренная степень поражения, на площади не более 1/2 поверхности к 3 сорту и 3 группе (от 25 до 50 % ИПП) — высокая степень поражения, к 4-й группе — плоды с площадью > 50 % ИПП — очень высокая степень поражения. 1-я группа — здоровые плоды, 2–4-я группы — потери (отход) (Никитин, 1999). Применяемые нами допуски (нормы для здоровых (товарных) сортов) дают возможность точнее оценивать степень поражения плодов загаром в зависимости от процентной доли пораженной поверхностной площади (Рисунок 1) нежели применяемые в настоящее время в ГОСТе 34314–2017 «Яблоки свежие, реализуемые в розничной торговой сети».

² Франчук, Е. П. (1983). *Проведение исследований по хранению плодов, ягод и винограда: Методические указания*. М.: Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук имени В. И. Ленина.

Рисунок 1

Интенсивность поверхностного поражения плода загаром (до 12,5 %) для 1 группы



Анализ данных

Статистическую обработку данных двухфакторного опыта, в котором помологические сорта являлись фактором (А), а температурные режимы — фактором В, проводили методом дисперсионного анализа с помощью программы Microsoft Excel. Графическое представление данных осуществляли при помощи программы SPSS 13.0 for Windows.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Интенсивность поверхностного поражения (ИПП) оказывает влияние на товарное качество плодов, которые могут быть при незначительных поражениях (<12,5 %) отнесены к категории здоровых (товарных).

Исследования степени поражения поверхности плодов яблони загаром с распределением на группы по ИПП ведутся нами с 1995 года (Никитин, 1999). В более поздний период аналогичные исследования были проведены во ВНИИ садоводства им. И. В. Мичурина (Тамбовская область) (Родинов, 2003), за рубежом — в ЮАР (Mditshwa et al., 2016) и во Франции (Marc et al., 2020).

В Мичуринске степень пораженной загаром поверхности плодов оценивается площадью их пора-

жения: от 0 % до 12,5 %; от 12,5 % до 50 %; от 50 % до 75 %; от 75 % до 100 %. Плоды дополнительно отсортировывают на фракции определенного диаметра (< 60 мм; 61–65; 66–70; 71–75; 76–80 и >80 мм) и оценивают зависимость величины загара от размера плодов. Плоды, имеющие больший размер, интенсивнее поражаются загаром, нежели меньшего размера. За рубежом относительная степень поверхностного поражения площади каждого плода регистрируется в соответствии со шкалой от 0 до 4: S0, симптомов нет; S1, от 0 % до 25 %; S2, от 25 % до 50 %; S3, от 50 % до 75 %; S4, > 75 % от площади пораженной поверхности (Рисунок 2).

Рисунок 2

Шкала степени поверхностного поражения плодов загаром



Примечание. Из “Pre-harvest climate and post-harvest acclimation to cold prevent from superficial scald development in Granny Smith apples”, by M. Marc, M, M. Cournot, S. Hanteville, A.-S. Poisson, M.-C. Guillou, S. Pelletier, F. Laurens, C. Tessier, C. Coureau, J.-P. Renou, M. Delaire and M. Orsel, 2020, *Scientific Reports*, 10, Article 6180 (<https://doi.org/10.1038/s41598-020-63018-3>). Copyright 2020 by Springer Nature Limited.

Предлагаемая нами группировка по ИПП предъявляет более жесткие требования к качеству плодов. Результаты изучения потерь плодов от функциональных расстройств при их хранении в различных температурных режимах приведены в Таблице 1.

Продолжительность хранения плодов изучаемых сортов находилась в пределах от 178 (Министр Киселёв) до 223 (Ивановское) суток. Выход товарных плодов у изучаемых сортов после снятия их с хранения варьировал в пределах от 57,7% у сорта Министр Киселёв (режим -1°C), до 82,3% у сорта Вавиловское (режим $+2^{\circ}\text{C}$), при соответственных потерях — 42,3 и 17,7%.

Плоды изучаемых сортов поражались следующими функциональными расстройствами (общее среднее): низкотемпературным разложением мякоти (НТР) — 4,5%; загаром — 4,4%; низкотемпературным ожогом (НТО) — 4,1%; перезреванием — 3,5% и внутренним побурением мякоти — 2,5% (Таблица 1).

В наибольшей степени функциональным расстройствам были подвержены плоды сортов Министр Киселёв (режим -1°C) — 35,9% и Ивановское ($+2^{\circ}\text{C}$) — 25,3%. Плоды сорта Вавиловское ($+2^{\circ}\text{C}$) в минимальной степени поражались функциональными расстройствами — 9,9%. В то же время плоды именно этого сорта вкупе с сортом Министр Кисе-

Таблица 1

Поражение плодов новых сортов яблони функциональными расстройствами в период хранения в зависимости от температурных режимов, 2021–2022 гг.

Вариант хранения	Продолжительность хранения, сутки	Здоровые (товарные), всего %	Потери, всего %	Функциональные расстройства, %					Всего
				загар	перезревание	побурение мякоти	Низкотемпературный ожог	Низкотемпературное разложение мякоти	
Вавиловское									
+2° С	207	82,3	17,7	8,2	0	0,4	0,7	0,7	9,9
-1° С		77,9	22,1	4,4	0	0,7	4,7	3,8	13,6
Среднее по фактору А		80,1	19,9	6,3	0,0	0,6	2,7	2,2	11,8
Ивановское									
+2° С	223	63,0	37,0	0	14,1	11,2	0	0	25,3
-1° С		71,5	28,5	0	6,5	3,9	0	1,6	12,0
Среднее по фактору А		67,2	32,8	0	10,3	7,6	0	0,8	18,7
Министр Киселёв									
+2° С	178	67,5	32,5	9,5	7,4	2,3	1,3	1,1	21,6
-1° С		57,7	42,3	4,5	0	1,1	26,4	3,9	35,9
Среднее по фактору А		62,6	37,4	7,0	3,7	1,7	13,8	2,5	28,7
Рождественское									
+2° С	182	77,1	22,9	8,9	0	0	0	10,8	19,7
-1° С		80,6	19,4	0	0	0	0	14,0	14,0
Среднее по фактору А		78,8	21,2	4,4	0	0	0	12,4	16,8
Общее среднее		72,2	27,8	4,4	3,5	2,5	4,1	4,5	19,0
Среднее по фактору В	+2° С	72,5	27,5	6,6	5,4	3,5	0,5	3,1	19,1
	-1° С	71,9	28,1	2,2	1,6	1,4	7,8	5,8	18,8
НСР A ₀₅				4,01	3,1	2,3	5,9	5,7	
НСР B ₀₅				2,84	2,2	1,6	4,2	F B<F ₀₅	
НСР AB ₀₅				F AB<F ₀₅	4,4	3,3	8,4	F AB<F ₀₅	

лёв больше, чем плоды остальных сортов понесли наибольший ущерб от загара, как в режиме -1°C , так и в режиме $+2^{\circ}\text{C}$.

Установлено, что низкотемпературные и другие функциональные расстройства проявляются на плодах изучаемых сортов значительно быстрее, чем загар. Плоды всех изучаемых сортов восприимчивы к низкотемпературным поражениям. У сорта Министр Киселёв при хранении в температурном режиме -1°C были отмечены низкотемпературные расстройства плодов: НТО (26,4 %) и НТР (3,9 %). Как наиболее устойчивый выделился сорт Ивановское. Его плоды лишь в минимальной степени (1,6 %) подвергались НТР при хранении в режиме -1°C .

Плоды сортов Вавиловское и Министр Киселёв в большей степени поражались ФР в режиме -1°C , а плоды сортов Ивановское и Рождественское — в режиме $+2^{\circ}\text{C}$. Вавиловское — 13,6 % в режиме -1°C (в режиме $+2^{\circ}\text{C}$ — 9,9 %), Министр Киселёв — 35,9 % -1°C (в режиме $+2^{\circ}\text{C}$ — 21,6 %). В среднем по всем изучаемым сортам, режим -1°C был более благоприятным в аспекте устойчивости плодов к функциональным расстройствам.

При хранении плодов изучаемых сортов в режиме -1°C мы отмечали меньшую степень их поражения загаром, чем в режиме $+2^{\circ}\text{C}$ (2,2 % против 6,6 %),

перезреванием (1,6 % против 5,4 %) и побурением (1,4 % против 3,5 %). В то же время режим -1°C приводил к большему поражению плодов нетолерантных сортов низкотемпературными расстройствами (7,8 % — НТО и 5,8 % — НТР), чем в режиме $+2^{\circ}\text{C}$ (0,5 % — НТО и 3,1 % — НТР).

Плоды сорта Ивановское практически не поражались загаром в процессе хранения, его плоды, пораженные на незначительной для отхода площади поверхности плодов в расчет условно не брались, так как относились нами к 1 товарному сорту. Плоды сорта Рождественское проявили устойчивость к загару при хранении в режиме -1°C , хотя в режиме $+2^{\circ}\text{C}$ имели значительный процент поражения — 8,9 % от общего количества хранимых плодов. На некоторых экземплярах всей изучаемой группы сортов было отмечено визуальное увядание (сморщенные в различной степени плоды), исключение сорт Рождественское в режиме $+2^{\circ}\text{C}$ (Таблица 2).

Интенсивность поверхностного поражения плодов побурением кожицы

На долю загара, как и на НТР, пришелся наибольший процент поражения плодов изучаемых сортов функциональными расстройствами — 4,4 и 4,5 % соответственно (см. Таблицу 1). Плоды всех изуча-

Таблица 2

Влияние сорта и температурного режима на восприимчивость плодов яблони к функциональным расстройствам во время хранения

Сорт	Вариант хранения	Загар	Увядание	Перезревание	Побурение мякоти	НТО	НТР
Вавиловское	$+2^{\circ}\text{C}$	***	*	—	*	*	*
	-1°C	**	*	—	*	**	**
Ивановское	$+2^{\circ}\text{C}$	—	**	***	***	—	—
	-1°C	—	*	**	**	—	*
Министр Киселёв	$+2^{\circ}\text{C}$	***	**	**	*	*	*
	-1°C	**	*	—	*	***	**
Рождественское	$+2^{\circ}\text{C}$	***	—	—	—	—	**
	-1°C	—	*	—	—	—	***

Примечание. (—) — отсутствие расстройства

(*) — слабая степень

(**) — средняя степень

(***) — сильная степень

емых сортов в той или иной степени поражались загаром. Общий процент их поражения составил 12,6%, из которых 8,2% отнесены нами к товарным плодам после хранения (Таблица 3). Больше всего загара было на площади <5% поверхности плода (1 группа) — 5,4% и менее всего — на площади >50% поверхности — 0,1% от общего количества хранимых плодов (Таблица 3, Рисунок 3).

В наибольшей степени от загара, относимого к отходу (потерям), пострадали плоды сорта Министр Киселёв — 7,0%, в наименьшей — плоды сорта Рождественское — 4,4%. Сорт Ивановское не имел пло-

дов, которые можно было бы отнести к отходу (2, 3, 4 группы). Все пораженные в минимальной степени загаром плоды сорта Ивановское мы относили к здоровым (1 группа).

Сильнее поразились загаром плоды из температурного режима +2 °С — 17,5%, из которых 10,9% были отнесены к товарным. В режиме — 1 °С пораженных плодов было 10,4%, из которых 7,4% относились к товарным. В среднем по опытам зафиксирована наибольшая ИПП плодов загаром на площади <5% поверхности (1 группа) — 15,4%, на площади 5...12,5% поверхности плода (1 группа) — 7,1%

Таблица 3

Интенсивность поверхностного поражения плодов различных сортов яблони загаром при разных режимах хранения (% от общего количества хранимых плодов)

Режим хранения, ° С	Загар							Всего (*+**)
	% от общего количества хранимых плодов							
	1 сорт		*всего	2 сорт	3 сорт	н/с	**всего	
	<5 % (ПП▼)	от 5 до 12,5 % (ПП)		от 12,5 до 25 % (ПП)	от 25 до 50 % (ПП)	>50 % (ПП)		
Группы	1			2	3	4		
Вавиловское								
+2 °С	20,9	7,6	28,5	3,6	3,8	0,8	8,2	36,7
–1 °С	9,9	6,6	16,5	2,6	1,8	0	4,4	20,9
Среднее	15,4	7,1	22,5	3,1	2,8	0,4	6,3	28,8
Ивановское								
+2 °С	1,2	0	1,2	0	0	0	0	1,2
–1 °С	1,6	0	1,6	0	0	0	0	1,6
Среднее	1,4	0	1,4	0	0	0	0	1,4
Министр Киселёв								
+2 °С	7,2	6,1	13,3	7,6	1,9	0	9,5	22,8
–1 °С	2,8	1,4	4,2	3,9	0,6	0	4,5	8,7
Среднее	5,0	3,8	8,8	5,8	1,2	0	7,0	15,8
Рождественское								
+2 °С	0	0,5	0,5	4,9	4,0	0	8,9	9,4
–1 °С	0	0	0	0	0	0	0	0
Среднее	0	0,2	0,2	2,4	2,0	0	4,4	4,6
Общее среднее	5,4	2,8	8,2	2,8	1,5	0,1	4,4	12,6
Среднее по режимам	+2 °С	7,3	3,6	10,9	4,0	2,4	6,6	17,5
	–1 °С	4,8	2,7	7,4	2,2	0,8	3,0	10,4

Примечание. ▼ — поверхностное поражение,

- — загар, который относится к 1 сорту (к товарным плодам),
- — загар, который относится ко 2, 3 сортам и нетоварным плодам (к отходу)

Рисунок 3

Интенсивность поверхностного поражения плодов загаром (общий средний процент поражения от общего количества хранимых плодов)

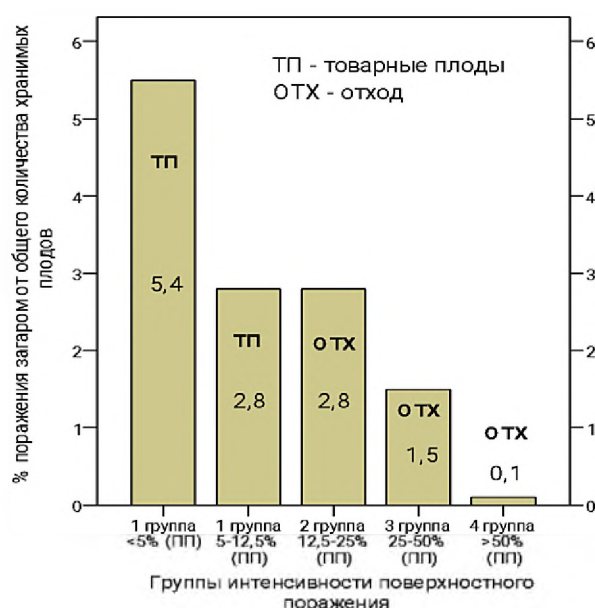
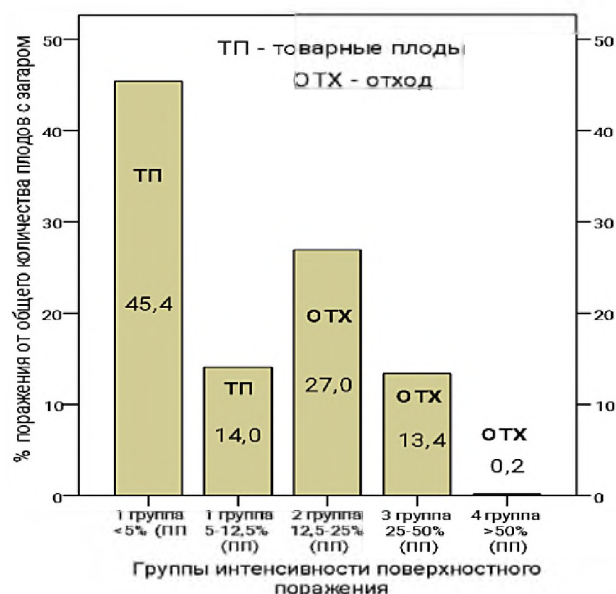


Рисунок 4

Интенсивность поверхностного поражения плодов загаром (общий средний процент поражения от общего количества плодов с загаром)



у сорта Вавиловское и на площади 12,5...25 % плода (2 группа) — 5,8% у сорта Министр Киселёв.

На долю плодов с ИПП<5% (1 группа) пришлось 45,4% от общего количества пораженных загаром плодов, что является наивысшим показателем, а на долю плодов 4 группы (>50% ИПП) пришелся наименьший процент пораженных загаром плодов — 0,2% от общего количества пораженных загаром плодов (Таблица 4, Рисунок 4).

Снижающим развитие загара плодов по всем изучаемым сортам отмечен режим -1°C , при котором плодов 1 группы (ИПП < 5% и 5...12,5%), условно отнесенным к товарным, было значительно больше — 75,9%, при 59,8% — в режиме $+2^{\circ}\text{C}$.

Для разработки полной сортовой технологии хранения плодов изучаемого блока сортов необходимо в дальнейшем дополнительно исследовать, как основные, так и сопутствующие показатели, оказы-

Таблица 4

Интенсивность поверхностного поражения плодов яблони загаром (% от общего поражения)

Режим хранения, ° С	Загар							Всего (**+**)
	% от общего количества пораженных загаром плодов							
	1 сорт		*всего	2 сорт	3 сорт	н/с	**всего	
	<5 % (ПП▼)	от 5 до 12,5 % (ПП)		от 12,5 до 25 % (ПП)	от 25 до 50 % (ПП)	>50 % (ПП)		
Группы	1			2	3	4		
Вавиловское								
+2 °С	56,1	20,1	76,2	10,9	11,4	1,5	23,8	100,0
–1 °С	41,7	36,2	77,9	12,2	9,9	0	22,1	100,0
Среднее	48,9	28,1	77,1	11,6	10,6	0,8	23,0	100,0

Окончание Таблицы 4

Режим хранения, ° С	Загар							Всего (•+••)
	% от общего количества пораженных загаром плодов							
	1 сорт		*всего	2 сорт	3 сорт	н/с	**всего	
	<5 % (ПП▼)	от 5 до 12,5 % (ПП)		от 12,5 до 25 % (ПП)	от 25 до 50 % (ПП)	>50 % (ПП)		
Группы	1			2	3	4		
Министр Киселёв								
+2 °С	29,9	24,9	54,8	36,1	9,1	0	45,2	100,0
–1 °С	35,1	14,8	49,9	43,0	7,1	0	50,1	100,0
Среднее	32,5	19,8	52,3	39,6	8,1	0,0	47,7	100,0
Ивановское								
+2 °С	100,0	0	100,0	0	0	0	0	100,0
–1 °С	100,0	0	100,0	0	0	0	0	100,0
Среднее	100,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Рождественское								
+2 °С	0	8,3	8,3	56,9	34,8	0	91,7	100,0
–1 °С	0	0	0	0	0	0	0	0
Среднее	0	8,3	8,3	56,9	34,8	0	91,7	100
Общее среднее	45,4	14,0	59,4	27,0	13,4	0,2	40,6	100,0
Среднее по режимам	+2 °С	46,5	13,3	59,8	26,0	13,8	0,4	40,2
	–1 °С	58,9	17,0	75,9	18,4	5,7	0,0	24,1

Примечание. ▼ – поверхностное поражение,

- – загар, который относится к 1 сорту (к товарным плодам),
- – загар, который относится ко 2, 3 сортам и нетоварным плодам (к отходу)

вающие влияние на лежкость плодов, с учетом конкретного места произрастания деревьев, погодных условий, степени зрелости и сроков съема, биохимических показателей как до, так и после хранения плодов в различных режимах.

ВЫВОДЫ

В результате изучения предрасположенности к функциональным (физиологическим) расстройствам плодов сортов яблони селекции ВНИИСПК Вавиловское, Ивановское, Министр Киселёв, Рождественское установлена различная степень поражения и их индивидуальная реакция на температурный режим хранения.

Низкотемпературные и другие функциональные расстройства проявляются на плодах значительно

быстрее, чем загар. Установлен более благоприятный температурный режим, существенно снижающий потери, –1 °С. При этом выявлены сорта, плоды которых подвержены расстройствам от низких температур: низкотемпературному ожогу и низкотемпературному разложению мякоти в большей степени — у сорта Министр Киселёв, в меньшей — у сорта Рождественское. У сорта Ивановское отмечено отсутствие пораженных плодов в режиме –1 °С. Определена степень интенсивности поверхностного повреждения плодов загаром. Представлено распределение плодов, пораженных загаром, по группам в зависимости от степени интенсивности поверхностного поражения. Снижающим развитие загара плодов по всем изучаемым сортам отмечен режим –1 °С. На данном этапе исследований необходима корректировка температурных условий и продолжительности хранения плодов изучаемых сортов. Конкретная группировка пло-

дов пораженных загаром по ИПП (предлагаемая градация качества), на основе процентной доли пораженной площади их поверхности, на наш взгляд, дает возможность точнее оценивать и разделять их по качеству при сортировке для реализации, а также прослеживать степень поражения плодов в различных температурных условиях хранения с фиксацией результатов в обозначенных границах площади поверхности.

Предлагаемые нами допуски, возможно, в дальнейшем будут учтены при разработке нового ГОСТа.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Никитин А. Л. — администрирование и курирование исследования, концептуализация, создание модели исследования, формулирование исследовательских целей и задач, проведение эксперимента,

сбор и курирование данных, проведение и анализ исследования, применение статистических методов для анализа данных исследования, подготовка черновика рукописи, создание рукописи, ее рецензирование и редактирование, визуализация/представление данных.

Макаркина М. А. — руководство исследованием, администрирование проекта, формулирование исследовательских целей и задач, проведение эксперимента, сбор и администрирование данных, проведение и анализ исследования, комментирование черновика рукописи, комментирование рукописи до ее публикации, рецензирование и редактирование рукописи.

Галашева А. М. — участие в исследовательском процессе, предоставление исследовательских ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

- Гудковский, В. А., & Кожина, Л. В. (2019). Стратегии защиты плодов яблони от загара. *Пищевая промышленность*, (12), 57–62. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10187>
- Дементьева, М. И., & Выгонский, М. И. (1988). *Болезни плодов, овощей и картофеля при хранении*. М.: Агропромиздат.
- Никитин, А. Л. (1999). *Качество и лежкость плодов новых сортов иммунных и высокоустойчивых к парше сортов яблони, выращенных в садах интенсивного типа* [Кандидатская диссертация, Мичуринский государственный аграрный университет]. Мичуринск, Россия.
- Никитин, А. Л., & Макаркина, М. А. (2020). *Хранение яблок: Прошлое, настоящее, будущее: Монография*. Орел: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур.
- Никитин, А. Л., & Макаркина, М. А. (2021). Деструктивные гидротермические факторы вегетационного периода за месяц до уборки урожая, увеличивающие потери плодов яблони от «загара» во время хранения. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*, (6), 23–26. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/6/23-26>
- Причко, Т. Г. (2018). *Сроки уборки и режимы хранения яблок с учетом сортовых особенностей: Методические рекомендации*. Краснодар: Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия.
- Родиков, С. А. (2003). Оценка степени загара яблок при хранении. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (9), 69–70.
- Седов, Е. Н., Жданов, В. В., & Серова, З. М. (1995). Экологические проблемы и селекция иммунных к парше сортов яблони. В *Плодоводство и ягодоводство России: Научные труды* (т. 2, с. 19–23). М.: Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства РАСХН.
- Седова, З. А., & Гудковский, В. А. (1999). *Изучение лежкости плодов семечковых культур: Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур*. Орел: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур.
- Anet, E. F. L. J. (1974). Superficial scald, a functional disorder of stored apples. XI. Apple antioxidants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 25(3), 299–304. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740250310>
- Barden, C. L., & Bramlage, W. J. (1994a). Relationships of antioxidants in apple peel to changes in α -farnesene and conjugated trienes during storage, and to superficial scald development after storage. *Postharvest Biology and Technology*, 4(1–2), 23–33. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)90004-3)
- Barden, C. L., & Bramlage, W. J. (1994b). Accumulation of antioxidants in apple peel as related to preharvest factors and superficial scald susceptibility of the fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(2), 264–269. <https://doi.org/10.21273/JASHS.119.2.264>
- Dällenbach, L. J., Eppler, T., Bühlmann-Schütz, S., Kellerhals, M., & Bühlmann, A. (2020). Pre- and Postharvest Factors Control the Disease Incidence of Superficial Scald in the New Fire Blight Tolerant Apple Variety “Ladina”. *Agron-*

- omy, 10(4), Article 464. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040464>
- Emongor, V. E., Murr, D. P., & Lougheed, E. C. (1994). Preharvest factors that predispose apples to superficial scald. *Postharvest Biology and Technology*, 4(4), 289–300. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)90040-X](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)90040-X)
- Gapper, N. E., Hertog, M. L. A. T. M., Lee, J., Buchanan, D. A., Leisso, R. S., Fei, Z., Qu, G., Giovannoni, J. J., Johnston, J. W., Schaffer, R. J., Nicolai, B. M., Mattheis, J. P., Watkins, C. B., & Rudell, D. R. (2017). Delayed response to cold stress is characterized by successive metabolic shifts culminating in apple fruit peel necrosis. *BMC Plant Biology*, 17, 77. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1030-6>
- Ingle, M., & D'Souza, M. C. (1989). Physiology and control of superficial scald of apples: A review. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 24(1), 28–31. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.24.1.28>
- Karagiannis, E., Michailidis, M., Tanou, G., Samiotaki, M., Karamanoli, K., Avramidou, E., Ganopoulos, I., Madesis, P., & Molassiotis, A. (2018). Ethylene-dependent and-independent superficial scald resistance mechanisms in 'Granny Smith' apple fruit. *Scientific Reports*, 8(1), Article 11436. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29706-x>
- Lu, X., Liu, X., Li, S., Wang, X., & Zhang, L. (2011). Possible mechanisms of warming effects for amelioration of superficial scald. *Postharvest Biology and Technology*, 62(1), 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.04.008>
- Lurie, S., & Watkins, C. B. (2012). Superficial scald, its etiology and control. *Postharvest Biology and Technology*, 65, 44–60. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.11.001>
- Lurie, S., Klein, J. D., & Arie, R. B. (1991). Prestorage heat treatment delays development of superficial scald on «Granny Smith» apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 26(2), 166–167. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.26.2.166>
- Marc, M., Cournol, M., Hanteville, S., Poisson, A.-S., Guillou, M.-C., Pelletier, S., Laurens, F., Tessier, C., Coureau, C., Renou, J.-P., Delaire, M., & Orsel, M. (2020). Pre-harvest climate and post-harvest acclimation to cold prevent from superficial scald development in Granny Smith apples. *Scientific Reports*, 10, Article 6180. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63018-3>
- Mditshwa, A., Fawole, O. A., Vries, F., Van Der Merwe, K., Crouch, E., & Opara, U. L. (2016). Classification of 'Granny Smith' apples with different levels of superficial scald severity based on targeted metabolites and discriminant analysis. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89, 49–55. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2016.089.006>
- Musacchi, S., & Serra, S. (2018). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae*, 234, 409–430. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.057>
- Paull, R. E. (1999). Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biology Technology*, 15(3), 263–277. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00090-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00090-8)
- Poirier, B. C., Mattheis, J. P., & Rudell, D. R. (2020). Extending 'Granny Smith' apple superficial scald control following long-term ultra-low oxygen controlled atmosphere storage. *Postharvest Biology and Technology*, 161, Article 111062. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111062>
- Rai, R., Joshi, S., Roy, S., Singh, O., Samir, M., & Chandra, A. (2015). Implications of changing climate on productivity of temperate fruit crops with special reference to apple. *Journal of Horticulture*, 2(2), Article 1000135. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1030-6>
- Rowan, D. D., Hunt, M. B., Fielder, S., Norris, J., & Sherburn, M. S. (2001). Conjugated triene oxidation products of α -farnesene induce symptoms of superficial scald on stored apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(6), 2780–2787. <https://doi.org/10.1021/jf0015221>
- Rudell, D. R., Buchanan, D. A., Leisso, R. S., Whitaker, B. D., Mattheis, J. P., Zhu, Y., & Varanasi, V. (2011). Ripening, storage temperature, ethylene action, and oxidative stress alter apple peel phytosterol metabolism. *Phytochemistry*, 72(11–12), 1328–1340. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.04.018>
- Rudell, D. R., Mattheis, J. P., & Hertog, M. L. A. T. M. (2009). Metabolomic change precedes apple superficial scald symptoms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(18), 8459–8466. <https://doi.org/10.1021/jf901571g>
- Watkins, C. B., Bramlage, W. J., & Cregoe, B. A. (1995). Superficial scald of 'Granny Smith' apples is expressed as a typical chilling injury. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(1), 88–94. <https://doi.org/10.21273/JASHS.120.1.88>
- Whitaker, B. D., Villalobos-Acuna, M., Mitcham, E. J., & Mattheis, J. P. (2009). Superficial scald susceptibility and α -farnesene metabolism in 'Bartlett' pears grown in California and Washington. *Postharvest Biology and Technology*, 53(1–2), 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.04.002>
- Whitaker, B. D. (2013). Genetic and biochemical bases of superficial scald storage disorder in apple and pear fruits. *Acta Horticulturae*, 989, 47–60. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.989.3>

REFERENCES

- Dement'eva, M. I., & Vygonskii, M. I. (1988). *Bolezni plodov, ovoshchei i kartofelya pri khranении* [Diseases of fruits, vegetables and potatoes during storage]. Moscow: Agropromizdat.
- Gudkovskii, V. A., & Kozhina, L. V. (2019). Strategii zashchity plodovoyabloniot zagara [Strategies for protecting apple fruits from sunburn]. *Pishchevaya Promyshlennost'* [Food Industry], (12), 57–62. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10187>
- Nikitin, A. L. (1999). *Kachestvo i lezhkost' plodov novykh sortov i imunnikh k parshesortovoyabloni, vyrashchennykh v sadakh intensivnogo tipa* [The quality and hardiness of the fruits of new varieties of immune and highly resistant to scab apple varieties grown in intensive type gardens] [Candidate Dissertation, Michurinskii gosudarstvennyi agrarnii universitet]. Michurinsk, Russia.
- Nikitin, A. L., & Makarkina, M. A. (2020). *Khraneniye yablok: Proshloe, nastoyashchee, budushchee: Monografiya* [Apple Storage: Past, Present, Future: Monograph]. Orel: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut selektsii plodovykh kul'tur.
- Nikitin, A. L., & Makarkina, M. A. (2021). Destruktivnye gidrotermicheskie faktory vegetatsionnogo perioda za mesyats do uborki i uroznya, uvelichivayushchie potery plodovoyabloniot "zagara" vovremya khraneniya [Destructive hydrothermal factors of the growing season a month before harvesting, increasing the loss of apple fruits from "tanning" during storage]. *Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Bulletin of the Russian Agricultural Science], (6), 23–26. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/6/23-26>
- Prichko, T. G. (2018). *Sroki uborki i rezhimy khraneniya yablok s uchetom sortovykh osobennostei: Metodicheskie rekomendatsii* [Terms of harvesting and storage modes of apples, taking into account varietal characteristics: Methodological recommendations]. Krasnodar: Severo-Kavkazskii federal'nyi nauchnyi tsentr sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya.
- Rodikov, S. A. (2003). Otsenkastepenizagaryablokprikhraneni [Assessment of the degree of tanning of apples during storage]. *Khraneniye i pererabotka sel'skokhozyaistvennykh produktov* [Storage and Processing of Farm Products], (9), 69–70.
- Sedov, E. N., Zhdanov, V. V., & Serova, Z. M. (1995). *Ekologicheskie problemy selektsii i imunnikh k parshesortovoyabloni* [Environmental problems and selection of scab-immune apple varieties]. In *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii: Nauchnyye trudy* [Fruit and berry growing in Russia: Scientific works] (vol. 2, pp. 19–23). Moscow: Vserossiiskii selektsionno-tekhnologicheskii institut sadovodstva i pitomnikovodstva RASKhN.
- Sedova, Z. A., & Gudkovskii, V. A. (1999). *Izucheniye lezhkosti plodov semechkovykh kul'tur: Programma i metodika sortoi-zucheniy plodovykh, yagodnykh i orekhovodnykh kul'tur* [Study of the keeping quality of fruits of seed crops: Program and methodology of variety study of fruit, berry and nut crops]. Orel: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut selektsii plodovykh kul'tur.
- Anet, E. F. L. J. (1974). Superficial scald, a functional disorder of stored apples. XI. Apple antioxidants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 25(3), 299–304. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740250310>
- Barden, C. L., & Bramlage, W. J. (1994a). Relationships of antioxidants in apple peel to changes in α -farnesene and conjugated trienes during storage, and to superficial scald development after storage. *Postharvest Biology and Technology*, 4(1–2), 23–33. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)90004-3)
- Barden, C. L., & Bramlage, W. J. (1994b). Accumulation of antioxidants in apple peel as related to preharvest factors and superficial scald susceptibility of the fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(2), 264–269. <https://doi.org/10.21273/JASHS.119.2.264>
- Dällenbach, L. J., Eppler, T., Bühlmann-Schütz, S., Kellerhals, M., & Bühlmann, A. (2020). Pre- and Postharvest Factors Control the Disease Incidence of Superficial Scald in the New Fire Blight Tolerant Apple Variety "Ladina". *Agronomy*, 10(4), Article 464. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040464>
- Emongor, V. E., Murr, D. P., & Loughheed, E. C. (1994). Preharvest factors that predispose apples to superficial scald. *Postharvest Biology and Technology*, 4(4), 289–300. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)90040-X](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)90040-X)
- Gapper, N. E., Hertog, M. L. A. T. M., Lee, J., Buchanan, D. A., Leisso, R. S., Fei, Z., Qu, G., Giovannoni, J. J., Johnston, J. W., Schaffer, R. J., Nicolai, B. M., Mattheis, J. P., Watkins, C. B., & Rudell, D. R. (2017). Delayed response to cold stress is characterized by successive metabolic shifts culminating in apple fruit peel necrosis. *BMC Plant Biology*, 17, 77. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1030-6>
- Ingle, M., & D'Souza, M. C. (1989). Physiology and control of superficial scald of apples: A review. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 24(1), 28–31. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.24.1.28>
- Karagiannis, E., Michailidis, M., Tanou, G., Samiotaki, M., Karamanoli, K., Avramidou, E., Ganopoulos, I., Madesis, P., & Molassiotis, A. (2018). Ethylene-dependent and -independent superficial scald resistance mechanisms in 'Granny Smith' apple fruit. *Scientific Reports*, 8(1), Article 11436. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29706-x>
- Lu, X., Liu, X., Li, S., Wang, X., & Zhang, L. (2011). Possible mechanisms of warming effects for amelioration of superficial scald. *Postharvest Biology and Technology*, 62(1), 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.04.008>
- Lurie, S., & Watkins, C. B. (2012). Superficial scald, its etiology and control. *Postharvest Biology and Technology*, 65, 44–60. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.11.001>
- Lurie, S., Klein, J. D., & Arie, R. B. (1991). Prestorage heat treatment delays development of superficial scald on «Granny Smith» apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 26(2), 166–167. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.26.2.166>

- Marc, M., Cournot, M., Hanteville, S., Poisson, A.-S., Guillou, M.-C., Pelletier, S., Laurens, F., Tessier, C., Coureau, C., Renou, J.-P., Delaire, M., & Orsel, M. (2020). Pre-harvest climate and post-harvest acclimation to cold prevent from superficial scald development in Granny Smith apples. *Scientific Reports*, 10, Article 6180. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63018-3>
- Mditshwa, A., Fawole, O.A., Vries, F., Van Der Merwe, K., Crouch, E., & Opara, U. L. (2016). Classification of 'Granny Smith' apples with different levels of superficial scald severity based on targeted metabolites and discriminant analysis. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89, 49–55. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2016.089.006>
- Musacchi, S., & Serra, S. (2018). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae*, 234, 409–430. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.057>
- Paull, R. E. (1999). Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biology Technology*, 15(3), 263–277. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00090-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00090-8)
- Poirier, B. C., Mattheis, J. P., & Rudell, D. R. (2020). Extending 'Granny Smith' apple superficial scald control following long-term ultra-low oxygen controlled atmosphere storage. *Postharvest Biology and Technology*, 161, Article 111062. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111062>
- Rai, R. Joshi, S., Roy, S., Singh, O., Samir, M., & Chandra, A. (2015). Implications of changing climate on productivity of temperate fruit crops with special reference to apple. *Journal of Horticulture*, 2(2), Article 1000135. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1030-6>
- Rowan, D. D., Hunt, M. B., Fielder, S., Norris, J., & Sherburn, M. S. (2001). Conjugated triene oxidation products of α -farnesene induce symptoms of superficial scald on stored apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(6), 2780–2787. <https://doi.org/10.1021/jf0015221>
- Rudell, D. R., Buchanan, D. A., Leisso, R. S., Whitaker, B. D., Mattheis, J. P., Zhu, Y., & Varanasi, V. (2011). Ripening, storage temperature, ethylene action, and oxidative stress alter apple peel phytosterol metabolism. *Phytochemistry*, 72(11–12), 1328–1340. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.04.018>
- Rudell, D. R., Mattheis, J. P., & Hertog, M. L. A. T. M. (2009). Metabolomic change precedes apple superficial scald symptoms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(18), 8459–8466. <https://doi.org/10.1021/jf901571g>
- Watkins, C. B., Bramlage, W. J., & Cregoe, B. A. (1995). Superficial scald of 'Granny Smith' apples is expressed as a typical chilling injury. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(1), 88–94. <https://doi.org/10.21273/JASHS.120.1.88>
- Whitaker, B. D., Villalobos-Acuna, M., Mitcham, E. J., & Mattheis, J. P. (2009). Superficial scald susceptibility and α -farnesene metabolism in 'Bartlett' pears grown in California and Washington. *Postharvest Biology and Technology*, 53(1–2), 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.04.002>
- Whitaker, B. D. (2013). Genetic and biochemical bases of superficial scald storage disorder in apple and pear fruits. *Acta Horticulturae*, 989, 47–60. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.989.3>