

## ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КАЛЬЦИЯ И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ГОРЬКОЙ ЯМЧАТОСТИ НА ПЛОДАХ ЯБЛОНИ ПРИ ХРАНЕНИИ

Д. И. МАРЦИНКЕВИЧ, О. С. КАРАНИК, А. М. КРИВОРОТ, Г. А. НОВИК

РУП «Институт плодоводства»,  
ул. Ковалёва, 2, аг. Самохваловичи, Минский район, 223013, Беларусь,  
e-mail: belhort@belsad.by

### АННОТАЦИЯ

Исследования проводили в 2023–2024 гг. в отделе хранения и переработки РУП «Институт плодоводства». Объектами исследований являлись плоды пяти сортов яблони (Алеся, Арнабель, Весяліна, Лигол, Редкрафт), составляющие основу свежей товарной продукции института.

Выявлены пороговые значения уровня содержания кальция в плодах, а также значения соотношения  $(K + Mg)/Ca$  при хранении для минимизации потерь из-за горькой ямчатости. Так, для сорта Арнабель содержание кальция должно быть не менее 12,3 мг/100 г, а соотношение  $(K + Mg)/Ca$  – не более 17,0 о. е., для сорта Лигол содержание кальция – не менее 7,2 мг/100 г, а соотношение  $(K + Mg)/Ca$  – не более 24,5 о. е., для сорта Редкрафт содержание кальция – не менее 13,5 мг/100 г, а соотношение  $(K + Mg)/Ca$  – не более 14,2 о. е.

Для сортов Арнабель, Лигол, Редкрафт при построении регрессионных моделей зависимости горькой ямчатости от содержания кальция в плодах установлено, что наиболее адекватными являются линейные модели, а для зависимости горькой ямчатости от соотношения элементов  $(K + Mg)/Ca$  – логарифмические модели.

**Ключевые слова:** плоды, яблоня, минеральный состав, кальций, калий, магний, горькая ямчатость, хранение, Беларусь.

### ВВЕДЕНИЕ

Значительные потери свежих плодов ряда ценных коммерческих сортов яблони при длительном хранении от физиологических расстройств и, в первую очередь, от горькой ямчатости приводят к существенному экономическому ущербу для производителей яблок и организаций торговли.

Минеральное питание – важный фактор регулирования роста и плодоношения яблони, а также повышения урожайности и качества плодов. При этом одним из наиболее важных элементов, влияющих на качество, товарность и лежкospособность плодов, является кальций (Ca) [1]. Управление кальциевым питанием яблони является важным элементом технологии выращивания этой культуры [2–4].

Роль кальция в питании растений значительно шире, чем принято считать. Он участвует в: метаболических процессах углеводного и белкового обмена; образовании и росте хлоропластов; формировании структуры клеточных стенок (90 % состоят из кальция) и их делении; поддержании физиологического равновесия ионов в клетке; нейтрализации органических кислот.

Кроме того, кальций:

способствует росту корневой системы;  
повышает активность ферментов;  
регулирует водный баланс;  
влияет на восприимчивость растений к болезням;  
влияет на вязкость и проницаемость протоплазмы [5].

Непосредственно с недостаточным содержанием кальция в плодах связывают развитие такого физиологического заболевания, как горькая ямчатость, которое может появляться у плодов уже на дереве либо развиваться во время хранения [2, 6]. У сортов, чувствительных к горькой ямчатости, в процессе хранения может поражаться до 80 % плодов, что является причиной значительных убытков производителей плодовой продукции [4, 7].

Концентрация кальция в плодах не является единственным критерием их предрасположенности к развитию горькой ямчатости. Значительную роль играет сбалансированность минерального состава плодов, особенно в отношении калия (K) и магния (Mg). Показано, что риск развития этого заболевания связан с соотношениями Ca/Mg, K/Ca и (K + Mg)/Ca [2, 8–11].

Повсеместно рекомендуемый способ снижения проявлений горькой ямчатости – опрыскивание деревьев препаратами кальция с целью быстрого повышения концентрации элемента в тканях плодов [12]. Параллельно с поиском агротехнических способов улучшения минерального состава плодов, развивается предварительная диагностика элементного состава яблок с целью оценки потенциального риска проявления симптомов горькой ямчатости в процессе хранения [7, 9, 10, 13, 14]. При разработке методов ранней диагностики внимание уделяется срокам отбора плодов [13] и определению наиболее точных параметров минерального состава для конкретных сортов [4, 13, 15].

Цель исследований – выявить взаимосвязи между уровнем содержания кальция и других элементов минерального питания и распространенностью горькой ямчатости на плодах яблони при хранении.

## ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований являлись плоды пяти сортов яблони (Алеся, Арнабель, Весяліна, Лигол, Редкрафт), выращенные в саду отдела хранения и переработки и составляющие основу свежей товарной продукции РУП «Институт плодоводства».

Почва сада дерново-подзолистая суглинистая. Агрохимическая характеристика опытных участков сада: содержание гумуса – 2,37 %; pH почвы – 5,5–5,9; фосфор – 157,00–176,00 мг, калий – 182,00–234,00, кальций – 1192,00, магний – 434,00, сера – 1,20, бор – 0,76 мг на кг почвы.

Система защиты сада отдела хранения и переработки РУП «Институт плодоводства» в 2023–2024 гг.:

Азофос (10 кг/га) – фенофаза «начало роста почки»;

Актара (0,14 кг/га) + Хорус (0,2 кг/га) – фенофаза «распускание почки»;

Фаскорд (0,2 л/га) + Каптан (1,5 кг/га) – фенофаза «выдвигание соцветий»;

Приам (0,6 л/га) – фенофаза «появление венчиков»;

Миравис (0,25 л/га) – фенофаза «цветение»;

Медея (1 л/га) – фенофаза «опадение лепестков»;

Мовенто Энерджи (0,8 л/га) + Дафна (0,3 л/га) – фенофаза «завязывание плодов»;

Медея (1 л/га) + Актара (0,14 кг/га) – фенофаза «смыкание чашелистиков»;

Волиам Тарго (0,8 л/га) + Хорус (0,2 кг/га) – фенофаза «размер плода с грецкий орех»;

Миравис (0,25 л/га) – фенофаза «размер плода с грецкий орех»;

Луна Транквилити (1 л/га) + Децис (0,125 л/га) – фенофаза «рост плодов I»;

Калина (0,18 л/га) + Серкадис Плюс (1 л/га) – фенофаза «рост плодов II»;

Медея (1 л/га) – фенофаза «рост плодов III»;

Серкадис Плюс (1 л/га) – фенофаза «рост плодов IV».

Товарность плодов определяли в момент уборки согласно СТБ 2288-2012 [16].

Опыт по хранению проводили согласно «Методическим рекомендациям по хранению плодов, овощей и винограда» [17].

Определение содержания макроэлементов (кальций, калий, магний) в кожице плодов с признаками горькой ямчатости проводили методом атомно-абсорбционной спектрометрии на спектрометре VARIAN AA240FS (Австралия) после 120 дней хранения в обычной газовой среде при температуре +2...+4 °C и относительной влажности воздуха 90–95 %.

Предварительное охлаждение плодов перед закладкой на хранение производили в холодильных камерах в течение 12 ч при температуре +4...+6 °C.

Плоды закладывали в пластиковые ящики размером 600 × 400 × 300 см. Повторность опыта трехкратная, в каждой повторности не менее 10 кг.

Распространенность горькой ямчатости определяли путем взвешивания пораженных плодов. Результаты выражали в процентах к общей массе продукции, заложенной на хранение.

Математическую обработку результатов осуществляли при помощи программного пакета STATISTICA 6.0 и Microsoft Excel [18].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После 120 дней хранения у всех исследуемых сортов была выявлена горькая ямчатость на плодах (табл. 1).

**Таблица 1. Распространенность горькой ямчатости, содержание кальция, а также соотношения элементов минерального питания в плодах яблони после 120 дней хранения, 2023–2024 гг.**

| Сорт                | Распространенность горькой ямчатости, (%) | Са, мг/100 г сырого вещества | (К + Mg)/Ca, (о. е.) |
|---------------------|---|------------------------------|----------------------|
| Алеся               | 1,0                                       | 11,4                         | 18,9                 |
| Арнабель            | 9,7                                       | 12,4                         | 17,7                 |
| Весяліна            | 2,3                                       | 11,5                         | 16,9                 |
| Лигол               | 15,5                                      | 6,3                          | 28,0                 |
| Редкрафт            | 9,8                                       | 13,5                         | 14,3                 |
| НСР <sub>0,05</sub> | 6,86                                      | 0,69                         | 0,35                 |

Основываясь на полученных результатах выявлены взаимосвязи между концентрацией кальция в кожице плодов яблони, а также между соотношением элементов минерального состава в относительных единицах (о. е.) и распространностью горькой ямчатости (%) после хранения (табл. 2).

**Таблица 2. Корреляционная зависимость между содержанием кальция в кожице плодов (мг/100 г), соотношением (К + Mg)/Ca и распространностью горькой ямчатости (%) после хранения по сортам, 2023–2024 гг.**

| Сорт     | Са, мг/100 г                                      | (К + Mg)/Ca, о. е.                             |
|----------|---|--|
| Алеся    | Обратная слабая ( $r = -0,172$ )                  | Прямая слабая ( $r = 0,333$ )                  |
| Арнабель | <b>Обратная сильная (<math>r = -0,960</math>)</b> | <b>Прямая сильная (<math>r = 0,942</math>)</b> |
| Весяліна | Обратная слабая ( $r = -0,322$ )                  | Прямая слабая ( $r = 0,391$ )                  |
| Лигол    | <b>Обратная сильная (<math>r = -0,839</math>)</b> | <b>Прямая сильная (<math>r = 0,894</math>)</b> |
| Редкрафт | <b>Обратная сильная (<math>r = -0,886</math>)</b> | <b>Прямая сильная (<math>r = 0,906</math>)</b> |

Результаты корреляционного анализа показали, что на появление горькой ямчатости при хранении на плодах яблони у сортов Арнабель, Лигол и Редкрафт значимое влияние оказывает концентрация кальция в плодах, а также соотношение суммы калия и магния к кальцию. Коэффициенты парной корреляции колебались в диапазоне 0,839–0,960, что соответствует сильной обратной (по содержанию кальция) и прямой (по соотношению элементов минерального состава) корреляционной зависимости между признаками. У сортов Алеся и Весяліна распространение горькой ямчатости при хранении от исследуемых показателей имеет слабую корреляционную зависимость.

Для сортов с наиболее тесными корреляционными связями (Арнабель, Лигол и Редкрафт) были построены регрессионные модели зависимости появления горькой ямчатости при хранении от содержания кальция в плодах и от соотношения суммы калия и магния к кальцию.

Установлено, что наиболее адекватными моделями зависимости горькой ямчатости от содержания кальция в плодах являются линейные, так как они имеют наибольший коэффициент детерминации по сравнению со степенными, логарифмическими и экспоненциальными регрессионными моделями.

При построении линейной зависимости появления горькой ямчатости при хранении от уровня содержания кальция в кожице для сорта Арнабель получено следующее уравнение регрессии:

$$Y = 37,9734 - 2,268 \times X, \quad (1)$$

где  $X$  – содержание кальция, мг/100 г;  $Y$  – горькая ямчатость, %.

Полученный график позволяет говорить о том, что содержание кальция в плодах сорта Арнабель должно быть не менее 12,3 мг/100 г для того, чтобы процент плодов с горькой ямчатостью не превышал пороговое значение потерь в 10 % (рис. 1).

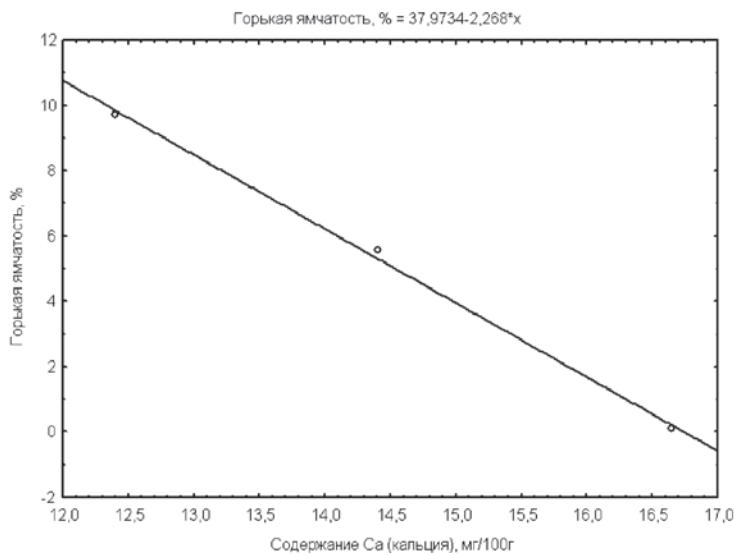


Рис. 1. Линейная регрессионная модель зависимости развития горькой ямчатости (%) от содержания Са (мг/100 г) в кожице плодов яблони сорта Арнабель

При построении линейной зависимости появления горькой ямчатости при хранении от уровня содержания кальция в кожице для сорта Лигол получено следующее уравнение регрессии:

$$Y = 48,3185 - 5,2893 \times X, \quad (2)$$

где  $X$  – содержание кальция, мг/100 г;  $Y$  – горькая ямчатость, %.

Построенный график зависимости позволяет говорить о том, что содержание кальция в плодах сорта Лигол должно быть от 7,2 мг/100 г и выше для минимизации потерь от горькой ямчатости при хранении (рис. 2).

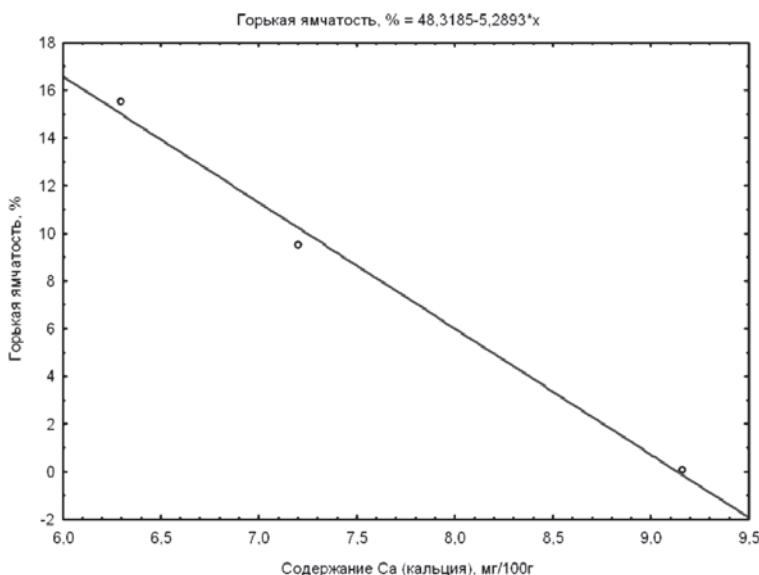


Рис. 2. Линейная регрессионная модель зависимости развития горькой ямчатости (%) от содержания Са (мг/100 г) в кожице плодов яблони сорта Лигол

Для сорта Редкрафт при построении линейной зависимости появления горькой ямчатости при хранении от уровня содержания кальция в кожице получено следующее уравнение регрессии:

$$Y = 94,7405 - 6,2479 \times X, \quad (3)$$

где  $X$  – содержание кальция, мг/100 г;  $Y$  – горькая ямчатость, %.

Для сорта Редкрафт согласно графику содержание кальция в плодах менее 13,5 мг/100 г при хранении приведет к критическим потерям от горькой ямчатости (рис. 3).

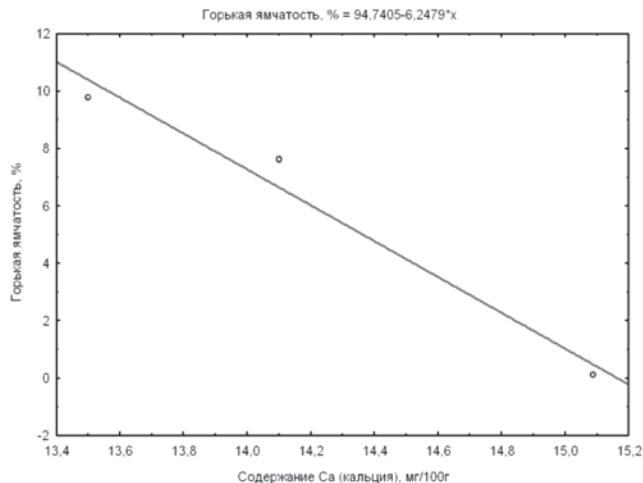


Рис. 3. Линейная регрессионная модель зависимости развития горькой ямчатости (%) от содержания Са (мг/100 г) в кожице плодов яблони сорта Редкрафт

Регрессионный анализ установил логарифмическую зависимость развития горькой ямчатости при хранении от соотношения суммы калия и магния к кальцию для сортов Арнабель, Лигол и Редкрафт.

При построении регрессионной модели зависимости горькой ямчатости (%) от соотношения  $(K + Mg)/Ca$  (о. е.) для сорта Арнабель получено следующее уравнение регрессии:

$$Y = -82,3236 + 74,6097 \times \log_{10}(X), \quad (4)$$

где  $X$  – соотношения  $(K + Mg)/Ca$ , о. е.;  $Y$  – горькая ямчатость, %.

Для сорта Арнабель пороговым значением соотношения  $(K + Mg)/Ca$  можно считать 17,0 о. е. и более для немедленной реализации продукции из-за увеличения потерь от горькой ямчатости при хранении (рис. 4).

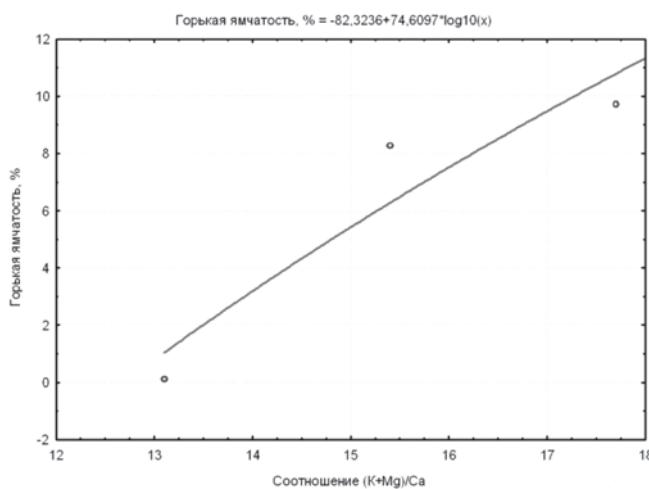


Рис. 4. Логарифмическая регрессионная модель зависимости развития горькой ямчатости (%) от соотношения  $(K + Mg)/Ca$  (о. е.) в кожице плодов яблони сорта Арнабель

Для сорта Лигол логарифмическая модель зависимости горькой ямчатости (%) от соотношения  $(K + Mg)/Ca$  (о. е.) имеет следующее уравнение регрессии:

$$Y = -137,1267 + 105,5875 \times \log_{10}(X), \quad (5)$$

где  $X$  – соотношения  $(K + Mg)/Ca$ , о. е.;  $Y$  – горькая ямчатость, %.

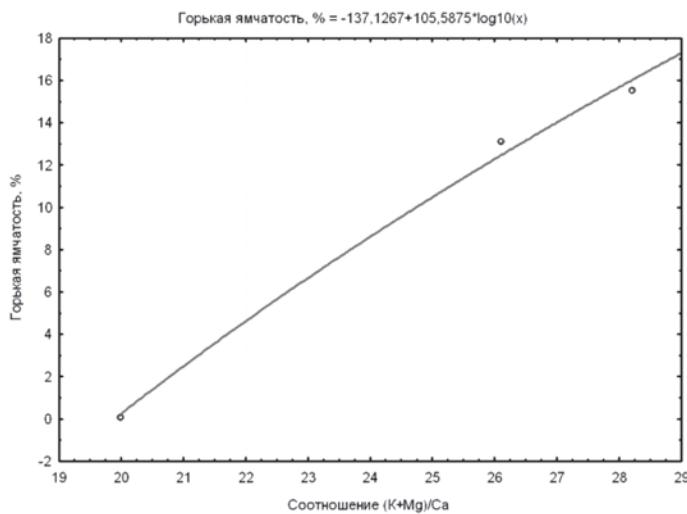


Рис. 5. Логарифмическая регрессионная модель зависимости развития горькой ямчатости (%) от соотношения  $(K + Mg)/Ca$  (о. е.) в кожице плодов яблони сорта Лигол

В результате анализа построенного графика можно сделать вывод, что значение соотношения  $(K + Mg)/Ca$  не должно превышать 24,5 о. е. у сорта Лигол для минимизации потерь от горькой ямчатости при хранении (рис. 5).

Для сорта Редкрафт логарифмическая модель зависимости горькой ямчатости (%) от соотношения  $(K + Mg)/Ca$  (о. е.) имеет следующее уравнение регрессии:

$$Y = -192,0331 + 175,3431 \times \log_{10}(X), \quad (6)$$

где  $X$  – соотношения  $(K + Mg)/Ca$ , о. е.;  $Y$  – горькая ямчатость, %.

Для сорта Редкрафт значение в 14,2 о. е. соотношения  $(K + Mg)/Ca$  является критическим для развития горькой ямчатости при хранении (рис. 6).

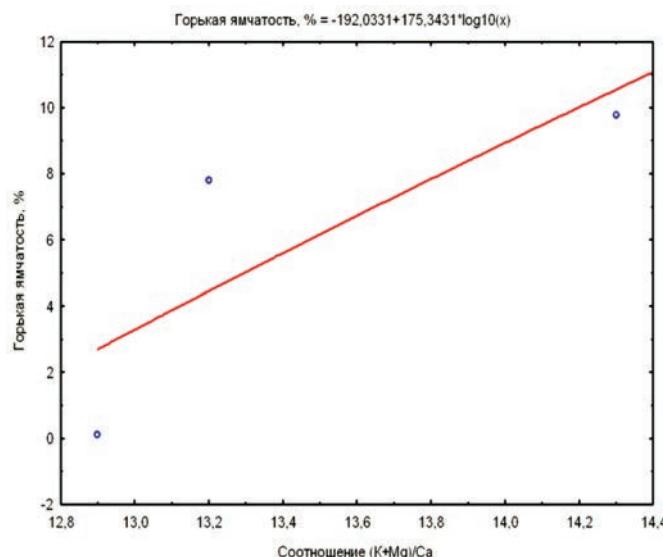


Рис. 6. Логарифмическая регрессионная модель зависимости развития горькой ямчатости (%) от соотношения  $(K + Mg)/Ca$  (о. е.) в кожице плодов яблони сорта Редкрафт

В результате корреляционного анализа установлена сортовая предрасположенность плодов яблони к развитию горькой ямчатости при хранении, связанная с недостатком элементов минерального питания в плодах. Так, сильные корреляционные связи выявлены у сортов Арнабель, Лигол, Редкрафт.

При этом зависимость горькой ямчатости от содержания кальция в плодах согласно регрессионному анализу подчинена линейной зависимости с наибольшими коэффициентами детерминации:  $R^2 = 0,88$  (Арнабель),  $R^2 = 0,94$  (Лигол),  $R^2 = 0,97$  (Редкрафт).

Зависимость развития горькой ямчатости при хранении от соотношения минеральных элементов питания в плодах  $((K + Mg)/Ca)$  подчинена логарифмической регрессионной модели с соответствующими коэффициентами детерминации:  $R^2 = 0,88$  (Арнабель),  $R^2 = 0,99$  (Лигол),  $R^2 = 0,65$  (Редкрафт).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлены тесные корреляционные связи зависимости развития горькой ямчатости при хранении от уровня содержания кальция в плодах, а также от соотношения элементов минерального состава  $((K + Mg)/Ca)$  у сортов Арнабель, Лигол, Редкрафт.

При построении регрессионных моделей зависимости горькой ямчатости от содержания кальция в плодах установлено, что наиболее адекватными для исследуемых сортов являются линейные модели, а для зависимости горькой ямчатости от соотношения элементов  $(K + Mg)/Ca$  – логарифмические модели с наибольшими коэффициентами детерминации.

Построенные линейные и логарифмические модели зависимости горькой ямчатости от содержания кальция в плодах и соотношения элементов  $(K + Mg)/Ca$  могут быть использованы для оценки рисков распространенности подкожной пятнистости на плодах яблони на начальных этапах хранения, а также позволят прогнозировать развитие горькой ямчатости на плодах до закладки на хранение.

Выявлены пороговые значения уровня содержания кальция в плодах, а также значения соотношения  $(K + Mg)/Ca$  при хранении для минимизации потерь от горькой ямчатости. Так, для сорта Арнабель содержание кальция должно быть не менее 12,3 мг/100 г, а соотношение  $(K + Mg)/Ca$  – не более 17,0 о. е., для сорта Лигол содержание кальция – не менее 7,2 мг/100 г, а соотношение  $(K + Mg)/Ca$  – не более 24,5 о. е., для сорта Редкрафт содержание кальция – не менее 13,5 мг/100 г, а соотношение  $(K + Mg)/Ca$  – не более 14,2 о. е.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гудковский, В. А. Система сокращения потерь и сохранение качества плодов и винограда при хранении : метод. рекомендации / В. А. Гудковский. – Мичуринск : ВНИИС, 1990. – 120 с.
2. Гудковский, В. А. Физиологические основы поражения плодов яблони подкожной пятнистостью и другими заболеваниями и система мер их предупреждения / В. А. Гудковский // Научно-практические достижения и инновационные пути развития производства продукции садоводства для улучшения структуры питания и здоровья человека : материалы науч.-практ. конф., г. Мичуринск, 8–10 сент. 2008 г. / редкол.: А. В. Гудковский (отв. ред.) [и др.]. – Мичуринск : Изд-во МичГАУ, 2008. – С. 90–97.
3. Сидорова, И. А. Содержание кальция в плодах различных сортов яблони как технологический показатель сырья для переработки / И. А. Сидорова, Е. С. Салина, Н. С. Левгерова // Современное садоводство. – 2016. – № 3. – С. 27–32.
4. Biggs, A. R. Managing bitter pit in 'Honeycrisp' apples grown in Mid-Atlantic United States with foliar-applied calcium chloride and some alternatives / A. R Biggs, G. M. Peck // HortTechnology. – 2015. – Vol. 25 (3). – P. 385–391.
5. Литвиненко, Р. Кальций – важнейший элемент питания плодовых культур / Р. Литвиненко // Агропромышленная газета Юга России. – 2023. – № 15–16 (668–669). – С. 3.
6. Причко, Т. Г. Влияние особенностей анатомического строения яблок на устойчивость к развитию заболевания горькой ямчатости / Т. Г. Причко, Л. Д. Чалаев, Т. Л. Смелик // Новые технологии. – 2015. – № 1. – С. 129–136.
7. Porro, D. The importance of advisory service in predicting bitter pit using early season fruit analysis / D. Porro, T. Pantezzi // V International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Plants. – 2006. – P. 273–278.
8. Причко, Т. Г. Оценка эффективности новых кальцийсодержащих препаратов в борьбе с горькой ямчатостью плодов яблони / Т. Г. Причко, Т. Л. Смелик // Научные труды СКЗНИИСиВ : сб. науч. тр. / Сев.-Кавк. зон. науч.-исслед. ин-т садоводства и виноградарства ; редкол.: Е. А. Егоров (гл. ред.), И. А. Ильина, Э. В. Макарова. – 2015. – Т. 7. – С. 143–146.

9. Bitter pit in apples: pre- and postharvest factors: a review / T. Jemrić, I. Fruk, M. Fruk [et al.] // Spanish Journal of Agricultural Research. – 2016. – Vol. 14. – P. 1–12.

10. Moggia, C. Mineral content of different apple cultivars in relation to fruit quality during storage / C. Moggia, J. A. Yuri, M. Pereira // Acta Horticulturae. – 2006. – Vol. 721. – P. 265–272.

11. Webster, D. H. Mineral composition of apple fruits. Relationships between and within peel, cortex and whole fruit samples / D. H. Webster // Canadian Journal of Plant Science. – 1981. – Vol. 61. – P. 73–85.

12. Элементный состав плодов яблони сорта Синап орловский при некорневых обработках соединениями кальция и биологически активными веществами / Е. В. Леоничева, Т. А. Роева, Л. И. Леонтьева [и др.] // Современное садоводство. – 2017. – № 4. – С. 84–96.

13. Патент RU 2593347 C1, МПК G01N 33/02, A01F 25/00. Способ ранней диагностики и определения предрасположенности плодов яблони к горькой ямчатости при хранении : № 2015132790/15 : заявлено 05.08.2015 : опубл. 10.08.2016 / Причко Т. Г., Германова М. Г., Дрофичева Н. В. ; заявитель Сев.-Кавк. зон. науч.-исслед. ин-т садоводства и виноградарства. – 6 с.

14. Tissue sampling method and mineral attributes to predict bitter pit occurrence in apple fruit: a multivariate approach / C. Amarante, J. P. G. Silveira, C. Steffens [et al.] // Acta Horticulturae. – 2013. – Vol. 1012. – P. 1133–1139.

15. Снижение развития горькой ямчатости на основе оптимизации минерального состава яблок / Т. Г. Причко, Л. Д. Чалая, М. В. Карпушина, Т. Л. Смелик // Фундаментальные и прикладные разработки, формирующие современный облик садоводства и виноградарства : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня образования Гос. науч. учреждения Сев.-Кавк. зон. науч.-исслед. ин-т садоводства и виноградарства, Краснодар, 5–9 сент. 2011 г. / Рос. акад. с.-х. наук, Сев.-Кавк. зон. НИИ садоводства и виноградарства, Рос. фонд фундам. исслед., Деп. сел. хоз-ва Краснод. Края ; редкол.: Е. А. Егоров, И. А. Ильина, Э. В. Макарова. – Краснодар, 2011. – С. 321–327.

16. Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия = Яблыкі свежыя позніх тэрмінаў паспявання. Тэхнічныя ўмовы : СТБ 2288-2012 ; введ. 01.07.2013. – Минск : Госстандарт : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2013. – 20 с.

17. Методические рекомендации по хранению плодов, овощей и винограда. Организация и проведение исследований / под общ. ред. С. Ю. Джунеева, В. И. Иванченко. – Ялта : Ин-т винограда и вина «Магарач», 1998. – 152 с.

18. Халафян, А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных : учебник / А. А. Халафян. – 3-е изд. – М. : ООО «Бином-Пресс», 2007. – 512 с.

## **EFFECT OF CALCIUM CONTENT AND OTHER MINERAL NUTRIENTS ON THE INCIDENCE OF BITTER PIT IN STORED APPLE FRUITS**

D. I. MARCINKIEWICH, O. S. KARANIK, A. M. KRIVOROT, G. A. NOVIK

### **Abstract**

The study was conducted in 2023–2024 at the Storage and Processing Department of the Republican Unitary Enterprise ‘Institute of Fruit Growing’.

The research focused on fruits of five apple cultivars (Alesya, Arnabel, Vesyalina, Ligol, and Redkraft), which form the core of the institute’s fresh market assortment.

Threshold values for calcium content and the (K + Mg)/Ca ratio in stored apples were identified to minimize losses from bitter pit. For cultivar Arnabel, calcium content should be no less than 12.3 mg/100 g, with a (K + Mg)/Ca ratio not exceeding 17.0 relative units; for Ligol — calcium  $\geq$  7.2 mg/100 g and ratio  $\leq$  24.5; and for Redkraft — calcium  $\geq$  13.5 mg/100 g and ratio  $\leq$  14.2.

Regression modeling of the dependence of bitter pit incidence on calcium content showed that linear models were the most appropriate for Arnabel, Ligol, and Redkraft. In contrast, the relationship between bitter pit and the (K + Mg)/Ca ratio was best described using logarithmic models.

*Keywords:* apples, fruits, mineral composition, calcium, potassium, magnesium, bitter pit, storage, Belarus.

*Поступила в редакцию 21.02.2025*