


НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ КАЛЬЦИЯ В СИСТЕМЕ «ПОБЕГИ-ЛИСТЬЯ-ПЛОДЫ ЯБЛОНИ»

Е.В. Леоничева , к.б.н.

Т.А. Роева, к.с.-х.н.

Л.И. Леонтьева, к.с.-х.н.

ФГБНУ ВНИИ селекции плодовых культур, 302530, Россия, Орловская область, Орловский район, д. Жилина, ВНИИСПК, agro@vniispk.ru

Аннотация

Особенности динамики накопления кальция в плодах, листьях и однолетних побегах яблони изучали в 2013...2015 годах в полевом опыте с деревьями сорта Синап орловский на полукарликовом вставочном подвое 3-4-98. Опытный участок расположен на серых лесных среднесуглинистых почвах в лесостепной зоне Среднерусской возвышенности (Орловская область). Содержание обменного кальция в почве – $14,8 \pm 0,5$ ммоль/100 г. Пять раз за период вегетации проводили отдельные и совместные некорневые подкормки деревьев 0,1% H_3BO_3 , 0,3% K_2SO_4 и 1% $CaCl_2$ по фазам: «розовый бутон», «полное цветение», «опадение лепестков», «греческий орех», и за 30...40 дней до съема плодов. Образцы листьев отбирали в конце июля, плодов – в фазе съемной зрелости. Однолетние приросты исследовали дважды в год: в январе и марте. Полученные результаты показали, что основные факторы, влияющие на движение и перераспределение кальция в деревьях яблони, – метеоусловия и нагрузка деревьев урожаем. Концентрация кальция в листьях в течение двух периодов вегетации была низкой и варьировала в пределах $1,00 \pm 0,05$ % сухой массы. Наличие кальция в составе фолиарных удобрений в течение двух периодов вегетации приводило к существенному возрастанию его содержания в листьях и достоверному уменьшению концентрации в однолетних приростах. В то же время, обработки 1% $CaCl_2$ в урожайный год (52 кг/дерево) способствовали увеличению содержания кальция в плодах, а в малоурожайный период вегетации (12 кг/дерево) – оказывали противоположный эффект.

Ключевые слова: яблоня, распределение кальция, побеги, листья, плоды, некорневые подкормки

SOME FEATURES OF CALCIUM DYNAMICS IN THE “APPLE FRUIT - LEAVES - SHOOTS” SYSTEM

E.V. Leonicheva , cand. biol. sci.

T.A. Roeva, cand. agr. sci.

L.I. Leontieva, cand. agr. sci.

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, 302530, Russia, Orel region, Orel district, Zhilina, VNIISPK, agro@vniispk.ru

Abstract

The dynamics of calcium concentrations in apple fruit, leaves and one-year-old shoots were studied in the field experiment with mature ‘Sinap Orlovsky’ apple trees on intercalary stock 3–4–98 during the growing seasons in 2013–2015. The experimental orchard was situated at forest-steppe zone of the Central Russian Upland (Orel region) with loamy gray forest soil. The exchangeable Ca content in soil was high – $14.8 \pm 0,5 \text{ mmol}^+/100 \text{ g}$. The separate and combined foliar nutrient treatments with H_3BO_3 (0,1%), K_2SO_4 (0,3%) and CaCl_2 (1%) were applied five times during the vegetation period. Leaf samples were collected in late July, fruit samples – at harvest. One- year-old shoots were collected twice every year: in January and in March. The results showed that meteorological conditions and yield load were the main factors affecting on calcium movement and redistribution in different parts of apple trees. The low leaf Ca content ($1,00 \pm 0,05 \%$ dry wt) was observed during two growing seasons. The presence of calcium in the composition of foliar fertilizers resulted in the essential rise of the leaf calcium content and essential reduce calcium concentration in one-year-old shoots during the two growing seasons. At the same time the treatments with CaCl_2 (1%) led to the increase of apple fruit calcium content in fruitful year (52 kg/tree), but had the contrary effect in the poor yield growing season (12 kg/tree).

Key words: *Malus domestica*, calcium redistribution, foliar fertilization, apple fruit, leaves, shoots

Введение

В растительной клетке кальций выполняет две различные функции. Свободный кальций является противоионом для органических и неорганических анионов в вакуоли и необходим как вторичный мессенджер в цитозоле при различных видах стресса. Кальций, находящийся в апопласте, связан с пектиновыми соединениями и выполняет важную структурную роль в клеточной стенке (Roy et al., 1995; White et al., 2003). Эти функции определяют значимость кальциевого питания для оптимизации качественных показателей плодов яблони. С концентрацией кальция в яблоках связаны такие их характеристики, как лёжкоспособность, твёрдость мякоти, выход сока и др. (Watkins et al., 2004; Сидорова и др., 2016). При недостатке кальция в плодах у ряда сортов яблони наблюдается физиологическое расстройство, называемое «горькой ямчатостью», которое может появляться в яблоках уже на дереве, либо развиваться во время хранения (Причко и др., 2015; Jemčić et al., 2016). У сортов, чувствительных к этому заболеванию, в процессе хранения может поражаться до 80% плодов (Biggs et al., 2015).

Несмотря на важную роль кальция в обеспечении качества плодов яблони, концентрация его в яблоках на порядок ниже, чем в вегетативных органах, что связано с особенностями транспорта этого элемента в многолетних древесных растениях. Симптомы

локального недостатка кальция обычно наблюдаются в частях растений, снабжаемых в большей степени через флоэму, чем через ксилему – это молодые листья и плоды (White et al., 2003; Jemrić et al., 2016). Направленное вверх движение кальция происходит вместе с водой через ксилему. При этом катионы элемента передвигаются не в массовом потоке, а в ходе серии обменных реакций вдоль отрицательно заряженных участков клеточных стенок сосудов (Hanger, 1979). Сравнительно медленное перемещение кальция в верхнюю часть древесных растений связано также с латеральным просачиванием и значительной аккумуляцией элемента в коре. Показано, что у молодых деревьев яблони в коре может находиться более половины от общего количества элемента в растении (Terblanche et al., 1979). В результате кальций в яблоне продолжает перемещение вверх по дереву в течение ряда вегетационных периодов. Промежуточные резервы кальция в корнях и ветвях являются основным источником элемента для роста молодых органов в начале вегетации (Hanger, 1979).

Важными факторами, оказывающими влияние на содержание кальция в плодах яблони, являются: величина запасов доступного растениям кальция в почве сада и соотношение вегетативного и генеративного развития деревьев (Watkins et al., 2004; Jemrić et al., 2016).

Наиболее распространённым агротехническим способом увеличения концентрации кальция в тканях плодов яблони являются опрыскивания различными кальцийсодержащими препаратами. В их число входят минеральные соединения кальция, полиминеральные комплексы, содержащие набор макро- и микроэлементов (в т.ч. и кальций), а также приобретающие популярность сложные органоминеральные соединения. В системе удобрения яблони некорневые подкормки соединениями кальция предлагается проводить многократно (Трунов, 2013; Biggs et al., 2015; Кузин, 2017), поэтому в течение периода вегетации возможны сочетания кальцийсодержащих препаратов с другими листовыми удобрениями, содержащими макро- и микроэлементы (Трунов, 2013; Кузин, 2017).

Перечисленные выше особенности движения и перераспределения кальция в растениях яблони показывают, что при изучении эффективности агротехнических приёмов, направленных на оптимизацию кальциевого обмена, оценка содержания кальция только в листьях и плодах недостаточно информативна. Для понимания процессов формирования кальциевого статуса плодов необходимо учитывать количество элемента, содержащееся в побегах и ветвях, а также оценивать обеспеченность деревьев кальцием в предшествующие периоды вегетации и принимать во внимание количество элемента, отчуждаемое с плодами и листьями.

Целью данного исследования было оценить изменение концентрации кальция в системе «побеги-листья-плоды яблони» в разные по урожайности годы и изучить влияние на показатели обеспеченности кальцием подкормок фолиарными удобрениями, содержащими либо не содержащими кальций.

Объекты и методы исследований

Исследования проводились в 2013...2015 гг. в полевом опыте по изучению эффективности некорневых подкормок яблони макро- и микроэлементами, в садовом массиве ФГБНУ ВНИИСПК (Орловская область). Сад заложен в 1992 году, схема посадки 6×3 м. Для исследований использованы деревья яблони сорта Синап орловский на полукарликовом вставочном подвое 3–4–98. Агротехника общепринятая для культуры. Система содержания почвы в междурядьях – залужение, в рядах – гербицидный пар.

Почва опытного участка – тёмно-серая лесная среднесуглинистая на лессовидном суглинке, подстилаемом доломитовыми известняками. Благодаря их близкому залеганию, профиль почвы насыщен обменными соединениями кальция и магния ($14,8 \pm 0,5$

и $4,3 \pm 0,3$ ммоль/100 г соответственно), а кислотность почвы снижается с глубиной. Агрохимические показатели в слое 0...20 см: pH_{KCl} – 5,4, $N_{общ.}$ – 3,9 ммоль/100г, гумус – 4,6%, подвижный P_2O_5 – 204,0 мг/кг, обменный K_2O – 194,0 мг/кг.

Некорневые подкормки борной кислотой (01%), сульфатом калия (0,3%) и хлористым кальцием (1%) проводились 5 раз за период вегетации по фазам: «розовый бутон», «полное цветение», «опадение лепестков», «грецкий орех» и за 30...40 дней до съема плодов. Варианты опыта представлены в таблицах 1, 2. Повторность опыта 3-х кратная, в варианте 6 учетных деревьев.

Образцы листьев отбирали в фазу затухания роста (последняя декада июля) из средней части однолетних побегов, образцы плодов – в фазу съёмной зрелости, однолетние побеги - дважды за весенне-зимний период: в январе и марте.

Содержание кальция в растительных образцах определялось трилонометрическим методом (Практикум по агрохимии..., 1989) после сухого озоления при температуре 450°C и растворения золы в 20% HCl. Математическая обработка результатов проводилась методом трёхфакторного дисперсионного анализа (Доспехов, 1985) с использованием программы TVA.

Результаты и обсуждение

Схема нашего опыта включает все возможные сочетания исследуемых веществ. Благодаря этому каждый компонент некорневой подкормки можно рассматривать как самостоятельный фактор. В данном исследовании, используя трёхфакторный дисперсионный анализ, мы выделяли в качестве отдельного фактора обработки хлористым кальцием, чтобы оценить влияние кальция в составе листовых удобрений на концентрацию его в различных частях растения.

Исследования, проведённые в нашем опыте в предшествующие годы, показали, что на концентрацию минеральных элементов в плодах яблони значимое влияние оказывали нагрузка деревьев урожаем и метеоусловия, определяющие доступность элементов в почве (Леоничева и др., 2014, 2015). Влияние этих факторов на уровень кальция в плодах и листьях отражено в таблице 1.

В малоурожайном (12 кг/дерева в среднем по опыту) 2013 г. после значительного выноса кальция с урожаем 2012 г. (40 кг/дерева) содержание кальция в плодах было самым низким за весь период проведения опыта – 3,360...4,953 мг/100 г сырой массы. Наряду с повышенным выносом причиной недостатка кальция следует считать и метеоусловия предыдущего периода вегетации, не способствовавшие пополнению запасов элемента. Весенне-летний период 2012 г. характеризовался повышенной температурой воздуха, а также недостаточным количеством осадков в период с мая по июль (Леоничева и др., 2015).

В 2013 г. наблюдались: значительное количество снега в зимний период, холодная весна и равномерное распределение осадков в течение лета, благодаря чему в 2013 г. влажность почвы в саду в течение всего периода вегетации была близка к оптимальному уровню. Эти условия были более благоприятными для поступления кальция в корни, но в связи с низкой скоростью перемещения кальция в деревьях, увеличение концентрации элемента в листьях и, особенно, в плодах произошло только в последующем 2014 г. При высокой урожайности (52 кг/дерева) концентрация кальция в плодах в 2014 г. была в 1,5...2,5 раза выше, чем в 2013 г. (таблица 1), а концентрация элемента в листьях – в 1,2...1,3 раза выше. При этом содержание кальция в листьях в оба года исследований было существенно ниже оптимального уровня, составляющего 1,3...2% сухой массы (Watkins et al., 2004; Biggs et al., 2015).

Таблица 1 – Влияние некорневых обработок на содержание кальция в плодах и листьях яблони

Фактор А (обработки CaCl ₂)	Фактор В (обработки K ₂ SO ₄ и H ₃ BO ₃)	Фактор С (год)		Средние ВС	Средние А
		2013	2014		
Плоды, мг/100 г сырой массы					
Без кальция	Контроль (обработка водой)	4,953	6,347	5,650	5,626
	H ₃ BO ₃	4,373	7,573	5,973	
	K ₂ SO ₄	3,840	7,680*	5,760	
	K ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	3,467*	6,773	5,120	
CaCl ₂	CaCl ₂	3,360*	7,200	5,280	5,798
	CaCl ₂ + H ₃ BO ₃	3,413*	7,893*	5,653	
	CaCl ₂ + K ₂ SO ₄	3,360*	8,403*	5,881	
	CaCl ₂ +K ₂ SO ₄ +H ₃ BO ₃	3,947	8,807*	6,377	
Средние С		3,839	7,585		
HCP _{0.05} A =0,47 HCP _{0.05} B=0,66 HCP _{0.05} C =0,47 HCP _{0.05} AB =0,94 HCP _{0.05} AC=0,66 HCP _{0.05} BC= 0,94 HCP _{0.05} ABC=1,32					
Листья, % сухой массы					
Без кальция	Контроль (обработка водой)	0,824	1,071	0,947	0,952
	H ₃ BO ₃	0,805	0,938	0,871	
	K ₂ SO ₄	0,977	1,082	1,029	
	K ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	0,927	1,002	0,964	
CaCl ₂	CaCl ₂	1,035	1,110	1,072	1,045
	CaCl ₂ + H ₃ BO ₃	0,945	1,197	1,071	
	CaCl ₂ + K ₂ SO ₄	0,947	1,050	0,998	
	CaCl ₂ +K ₂ SO ₄ +H ₃ BO ₃	0,943	1,138	1,040	
Средние С		0,925	1,073		
HCP _{0.05} A =0,08 HCP _{0.05} B=0,12 HCP _{0.05} C =0,08 HCP _{0.05} AB =0,17 HCP _{0.05} AC=0,12 HCP _{0.05} BC= 0,17 HCP _{0.05} ABC=0,24					

Примечание – * - различия с контролем достоверны при уровне значимости 5%

Использование трёхфакторного дисперсионного анализа для оценки влияния некорневых подкормок на уровень кальция в листьях показало, что присутствие хлористого кальция в составе листовых удобрений способствовало стабильному увеличению концентрации элемента в листьях в течение двух периодов вегетации. Для плодов различия по фактору «обработки CaCl₂» также наблюдались, но были противоположными в зависимости от условий вегетационного периода. В 2014 г. после обработок удобрениями, содержащими хлористый кальций, концентрация кальция в плодах достоверно увеличилась, а в 2013 г. наблюдалась тенденция к снижению показателя.

Следует отметить, что на содержание кальция в плодах оказывали влияние и опрыскивания не содержащими кальций удобрениями. Так, в 2013 г. обработка смесью K₂SO₄+H₃BO₃ способствовала уменьшению концентрации элемента, а в 2014 г. отмечено увеличение уровня кальция при обработках сульфатом калия (таблица 1). Значимое влияние указанных веществ на содержание кальция в плодах наблюдалось и в более ранние годы проведения исследований (Леоничева и др., 2014).

В целом по результатам исследований можно отметить, что содержание кальция в вегетативных органах (листьях и однолетних побегах) было значительно стабильнее, чем в плодах, и в меньшей мере изменялось под влиянием природных и агротехнических факторов.

Недостаток кальция в вегетационный период 2013 г., проявившийся в пониженном содержании элемента в плодах и листьях, почти не отразился на его содержании в однолетних побегах. Концентрация кальция в однолетних приростах в январе 2014 г. была в 1,2 раза меньше чем в январе 2015 г., а мартовские уровни концентрации элемента в

побегах различались ещё меньше (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние некорневых обработок на содержание кальция в однолетних приростах яблони

Фактор А (обработки CaCl ₂)	Фактор В (обработки K ₂ SO ₄ и H ₃ BO ₃)	Фактор С (месяц)		Средние ВС	Средние А
		январь	март		
% сухой массы, 2014 г.					
Без кальция	Контроль (обработка водой)	1,365	1,683	1,524	1,453
	H ₃ BO ₃	1,417	1,400*	1,408	
	K ₂ SO ₄	1,313	1,470	1,391	
	K ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	1,364	1,616	1,490	
CaCl ₂	CaCl ₂	1,212	1,436*	1,324*	1,362
	CaCl ₂ + H ₃ BO ₃	1,231	1,474	1,352*	
	CaCl ₂ + K ₂ SO ₄	1,431	1,582	1,506	
	CaCl ₂ + K ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	1,255	1,279*	1,266*	
Средние С		1,259	1,465		
HCP _{0.05} A = 0,08 HCP _{0.05} B = 0,12 HCP _{0.05} C = 0,08 HCP _{0.05} AB = 0,16 HCP _{0.05} AC = 0,12 HCP _{0.05} BC = 0,16 HCP _{0.05} ABC = 0,23					
% сухой массы, 2015 г.					
Без кальция	Контроль (обработка водой)	1,575	1,663	1,619	1,568
	H ₃ BO ₃	1,560	1,507	1,533	
	K ₂ SO ₄	1,635	1,692	1,663	
	K ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	1,474	1,437*	1,455*	
CaCl ₂	CaCl ₂	1,374	1,601	1,487	1,465
	CaCl ₂ + H ₃ BO ₃	1,511	1,516	1,513	
	CaCl ₂ + K ₂ SO ₄	1,404	1,513	1,458*	
	CaCl ₂ + K ₂ SO ₄ + H ₃ BO ₃	1,406	1,401*	1,403*	
Средние С		1,492	1,541		
HCP _{0.05} A = 0,08 HCP _{0.05} B = 0,11 HCP _{0.05} C = 0,08 HCP _{0.05} AB = 0,15 HCP _{0.05} AC = 0,11 HCP _{0.05} BC = 0,15 HCP _{0.05} ABC = 0,22					

Примечание – * - различия с контролем достоверны при уровне значимости 5%

В отличие от листьев, однолетние приросты на деревьях, обработанных кальцийсодержащими удобрениями, в оба года исследований содержали достоверно меньше кальция, чем приросты деревьев, не получавших кальций в виде листовой подкормки (таблица 2). Вероятно, поступление кальция в листья при опрыскиваниях снижает транспорт элемента из корней. При этом дополнительные количества кальция, поступающие в однолетние приросты при обработках, – невелики, поскольку площадь поверхности побегов во много раз меньше площади листьев.

В оба года в январе не наблюдалось достоверных различий по содержанию кальция между побегами, получавшими летом некорневые подкормки, и побегами с контрольных деревьев. В марте, когда деревья начали выходить из состояния покоя, такие различия появились (таблица 2), причём содержание кальция в обработанных побегах было ниже контроля. В более тёплом марте 2014 г. (среднемесячная температура +2,6°С) этот эффект был более заметен, чем в холодном марте 2015 г. (среднемесячная температура +1,1°С). Считаем, что различия связаны с неодинаковой интенсивностью поступления кальция в однолетние приросты из более старых частей дерева.

Заключение

Проведённые нами исследования показали, что изучение динамики кальция в системе «побеги-листья-плоды яблони» с учётом метеоусловий и урожайности позволяет лучше понять процессы формирования кальциевого статуса плодов, чем однократная оценка

содержания элемента в листьях и плодах. В то же время, двухлетний период исследований также представляется недостаточным. Для подтверждения высказанных в данной статье предположений необходимо продолжить изучение особенностей движения и перераспределения кальция в растениях яблони, учитывая также динамику содержания кальция в ветвях разного возраста и оценивая долю форм кальция с разной степенью подвижности.

Литература

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
2. Кузин А.И. Влияние фертигации, капельного орошения и некорневых подкормок на продуктивность яблони, качество плодов и свойства почвы в интенсивном саду Центрального Черноземья // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. №130. С. 958-974. DOI: 10.21515/1990-4665-130-070
3. Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И., Ветрова О.А. Сортовые особенности калийного питания яблони при некорневых подкормках // Садоводство и виноградарство. 2015. № 5. С.35–41.
4. Леоничева Е.В., Роева Т.А., Леонтьева Л.И., Ветрова О.А. Влияние некорневых подкормок на содержание калия и кальция в плодах яблони // Плодоводство и ягодоводство России. 2014. Т.40 (2). С.189-192.
5. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 1989. 304 с.
6. Причко Т.Г., Смелик Т.Л. Оценка эффективности новых кальцийсодержащих препаратов в борьбе с горькой ямчатостью плодов яблони // Научные труды Государственного научного учреждения Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. Т. 7. С. 143–146.
7. Сидорова И.А., Салина Е.С., Левгерова Н.С. Содержание кальция в плодах различных сортов яблони как технологический показатель сырья для переработки // Современное садоводство – Contemporary horticulture. 2016. №3. С.27–32. URL: journal.vniispk.ru/pdf/2016/3/34.pdf.
8. Трунов, Ю.В. Биологические основы минерального питания яблони. Воронеж: Кварта, 2013. 428 с.
9. Biggs A.R., Peck G.M. Managing bitter pit in Honeycrisp apples grown in Mid-Atlantic United States with foliar-applied calcium chloride and some alternatives // HortTechnology. 2015. V.25 (3). P.385–391.
10. Hanger B.C. The movement of calcium in plants // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 1979. V.10, № 1-2. P.171-193. DOI: 10.1080/00103627909366887
11. Jemric T., Fruk I., Fruk M., Radman S., Sinkovic L., Fruk G. Bitter pit: pre- and postharvest factors: A review // Spanish Journal of Agricultural Research. 2016. V.14, № 4. 1-12. DOI: 10.5424/sjar/2016144-8491
12. Roy S., Gillen G., Conway W.S., Watada A. E., Wergin W. E. Use of secondary ion mass spectrometry to image calcium uptake in the cell walls of apple fruit // Protoplasma. 1995. V.189. P.163-172. DOI: 10.1007/BF01280170
13. Terblanche J. H., Wooldridge L., Hesebecka I., Jouberta M. The redistribution and immobilisation of calcium in apple trees with special reference to bitter pit // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 1979. V.10, № 1-2. P.195-215. DOI: 10.1080/00103627909366888

14. Watkins C., Schupp J., Rosenberger D. Calcium nutrition and control of calcium-related disorders // *New York Fruit Quarterly*. 2004. V.12, № 2. P.15-21. URL: <http://nyshs.org/wp-content/uploads/2016/10/Calcium-Nutrition-and-Control-of-Calcium-related-Disorders.pdf>
15. White P.J., Broadley M.R. Calcium in Plants // *Annals of Botany*. 2003 . V. 92. P. 487-511. DOI:10.1093/aob/mcg164

References

1. Dosepov, B.A. (1985). *Field experiment method (with statistic processing of investigation results)*. Moscow: Agropromizdat. (In Russian).
2. Kuzin, A.I. (2017). Influence of fertigation, drip irrigation and foliar nutrition on productivity of apple trees, fruit quality and soil properties in intensive orchard of the central chernozem region. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*, 130, 958-974. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-130-070> (In Russian, English abstract).
3. Leonicheva, E.V., Roeva, T.A., Leontieva, L.I., & Vetrova, O.A. (2015). Varietal features of potassium nutrition of apple under foliar fertilization. *Horticulture and viticulture*, 5, 35–41. (In Russian, English abstract).
4. Leonicheva, E.V., Roeva, T.A., Leontieva, L.I., & Vetrova, O.A. (2014). Influence of foliar spray on the content of potassium and calcium in apple fruits. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*, 40 (2), 151-154. (In Russian, English abstract).
5. Mineev, V.G. (Ed.) (1989). *Practice work on agrochemistry*. Moscow: MGU. (In Russian).
6. Prichko, T.G. & Smelik, T.L. (2015). Assessment of efficiency of new preparations contained calcium in the fight against of apple bitter pits. *Scientific publications of FSBSO NCRRIH&V*, 7, 143-146. (In Russian, English abstract).
7. Sidorova, I.A., Salina, E.S., & Levgerova, N.S. (2016). Calcium content in fruit of different apple varieties as a technological index of raw material for processing. *Sovremennoe sadovodstvo – Contemporary horticulture*, 3, 27-32. Retrieved from: <http://journal.vniispk.ru/pdf/2016/3/34.pdf> (In Russian, English abstract).
8. Trunov, Yu.V. (2013). *Mineral nutrition and fertilizing of apple*. Voronezh, Kvarta. (In Russian).
9. Biggs, A.R., & Peck, G.M. (2015). Managing Bitter Pit in 'Honeycrisp' Apples Grown in the MidAtlantic United States with Foliar-applied Calcium Chloride and Some Alternatives. *HortTechnology*, 25(3), 385–391.
10. Hanger, B.C. (1979). The movement of calcium in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 10(1-2), 171-193. <https://doi.org/10.1080/00103627909366887>
11. Jemric, T., Fruk, I., Fruk, M., Radman, S., Sinkovic, L., & Fruk, G. (2016). Bitter pit in apples: pre-and postharvest factors: A review. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(4), 1-12. <https://doi.org/10.5424/sjar/2016144-8491>.
12. Roy, S., Gillen, G., Conway, W.S., Watada, A. E., & Wergin, W. E. (1995). Use of secondary ion mass spectrometry to image calcium uptake in the cell walls of apple fruit. *Protoplasma*, 189, 163-172. <https://doi.org/10.1007/BF01280170>
13. Terblanche, J. H., Wooldridge, L., Hesebecka, I., & Jouberta, M. (1979). The redistribution and immobilisation of calcium in apple trees with special reference to bitter pit. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 10(1-2), 195-215. <https://doi.org/10.1080/00103627909366888>
14. Watkins, C., Schupp, J., & Rosenberger, D. (2004). Calcium nutrition and control of calcium-related disorders. *New York Fruit Quarterly*, 12(2), 15-21. Retrieved from: nyshs.org/wp-content/uploads/2016/10/Calcium-Nutrition-and-Control-of-Calcium-related-Disorders.pdf
15. White, P.J., & Broadley, M.R. (2003). Calcium in Plants. *Annals of Botany*, 92, 487-511. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg164>.